UNIVERSIDAD ACCIÓN PRO EDUCACIÓN Y CULTURA (UNAPEC)

DECANATO DE INGENIERÍA E INFORMÁTICA
ESCUELA DE INGENIERIA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO:
INGENIERO ELÉCTRICO MENCIÓN POTENCIA

Propuesta de Implementación de un Sistema de Bombeo Solar en las Piscinas del Centro Olímpico, Sto. Domingo, República Dominicana, 2018.

SUSTENTANTES:

Br. JUAN ARMANDO TERRERO SANTANA	2013-0450
Br. JAIME ÁLVAREZ CASTILLO	2013-1074
Br. ERIK MELQUIDES HERRERA VALDEZ	2014-1668

ASESOR:
ING. FRANCISCO SANCHEZ DEL ROSARIO

SANTO DOMINGO, D.N., REPÚBLICA DOMINICANA
9 ABRIL DE 2018

“Los conceptos expuestos en esta investigación son de la exclusiva responsabilidad de sus autores”.

RESUMEN

En los últimos años, la República Dominicana ha estado contrarrestando la producción de energía eléctrica procedente de fuentes convencionales por la de fuentes renovables. Es por eso que el estado dominicano creó e implementó la ley 57-07 de incentivos para el desarrollo de las energías renovables, y de esa manera contribuir con el medio ambiente, contando con mayores fuentes de producción de energía a bajo costo.

Por ese motivo, este trabajo de grado tiene como objetivo plantear una propuesta para la implementación de un Sistema de Bombeo Solar en las piscinas del centro olímpico Juan Pablo Duarte, dicho centro tiene un alto consumo de energía eléctrica en el área de las piscinas ya que estas utilizan un sistema de bombeo tradicional para la recirculación del agua que depende de la red eléctrica nacional, dicho sistema esta encendido las 24 horas los 7 días a la semana, este alto consumo de demanda influye bastante en la facturación de energía del centro la cual es de 3,800,000.0 de pesos dominicanos aproximadamente cada mes. La propuesta se realiza llevando a cabo un levantamiento en la zona que se desea implementar el proyecto para la revisión de los equipos actuales y el área a utilizarse para colocar los futuros paneles solares, se adquirieron los datos de facturación de los últimos 7 meses proporcionados por la CDEEE y por último se implementan los cálculos correspondientes para la elaboración del proyecto.

La propuesta planteada se desarrolla en cuatro capítulos, en los cuales se detallan los parámetros a tomar en cuenta para la implementación de la misma. También se argumentan las historias de la ingeniería eléctrica, patronato acuático y centro olímpico. Por otra parte, se resalta el sistema de bombeo solar, sus componentes y funcionamiento del mismo, también se dedican dos capítulos que contienen los cálculos para determinar las necesidades a implementar de los cuales uno es de planteamiento de las formulas y otro con el desarrollo de los ejercicios. Y para concluir, se desarrolla una propuesta económica sobre la inversión del proyecto.

Luego de realizar el levantamiento, los resultados arrojarían como recomendación el que se debería sustituir por completo el sistema de bombeo existente, ya que el sistema actual está basado en un sistema de bombeo convencional y este conlleva a una facturación elevada por la alta demanda de energía. Dichos resultados confirman que la ejecución de la propuesta es factible ya que se tendría un sistema eficiente y de menor consumo para la red nacional, con lo que se estaría incentivando al uso de energías renovables y su aplicación.

DEDICATORIAS

A Dios: Gracias por permitirme culminar esta etapa de mi vida, sin ti nada fuera posible.

A mi padre: Juan Terrero, quien desde un principio apostó a mí, dándome facilidades y aconsejándome, se todo el sacrificio que hiciste para que esto fuera posible.

A mi madre: Damaris Santana, quien siempre ha estado pendiente de mis estudios, mi situación de salud y mi vida personal, gracias madre por darme tanto.

A mis hermanos: Andry sé lo orgulloso que te sientes, porque eres así, siempre quieres lo mejor para tus hermanos. Cindy gracias por todo, fuiste quien más me apoyo en esta etapa, desde que yo era un pinito en la universidad hasta mis últimos cuatrimestres, gracias por las recargas, por prestarme tu computadora tantas veces, por darme las orientaciones necesarias para entender el sistema de APEC, por las veces que me inscribiste cuando el internet no funcionaba, muchísimas gracias por todo eso. Y a ti Laura, por siempre ponérmela difícil, eso me hizo darle más duro a todo y a entender que nada es perfecto.

A mis compañeros de tesis: Jaime y Erik gracias por la oportunidad de trabajar con ustedes, fue mejor de lo que esperaba, sin ustedes esto hubiera sido más largo y difícil, trabajar en conjunto me demostró que tanto potencial tienen, espero tener la oportunidad de volverlo hacer en cualquier otra ocasión.

A mis amigos los illos: Garibaldy y Efer, sin ustedes el proceso hubiera sido más difícil, gracias por todas esas veces que nos juntábamos no solo a estudiar sino también a pasar el rato, gracias por esos momentos de ocio en la universidad, por sus consejos, al final de todo esto los considero mis hermanos, gracias illos.

A mis compañeros de clases: Todo aquel que en algún momento cursó alguna asignatura conmigo, ya que de toda persona se aprende, gracias a todos aquellos que me tendieron la mano cuando lo necesite. Conocí todo tipo de persona, las cuales me enseñaron como tendré que desenvolverme en el ambiente laboral, gracias a todos.

A mis profesores: Por transferir sus conocimientos hacia mí, en especial a mi asesor el Ing. Francisco Sánchez por todas las orientaciones durante este último proceso, al Ing. Frank H. Nuñez con usted aprendí mucho, gran profesor, gran ser humano, Robert Estrella y Carlos Vásquez (el social).

A mis excompañeros de trabajo: Sobre todo a Don Andrés, por darme tantos permisos, por ayudarme con las informaciones necesarias para esta tesis, y por darme la oportunidad de trabajar con usted, muchísimas gracias.

ARMANDO TERRERO.

A mi madre Purificación Castillo Moreno, quién no sólo me dio la vida, sino que también me dio los motivos para superarme cada día. Con su esfuerzo, generosidad, bondad y amor ha sido el mejor ejemplo que podía tener sobre cómo ser una buena persona. Gracias por todas esas noches sin dormir por mí, por haber aguantado todos esos malos ratos que te he hecho pasar. Eres uno de mis mayores orgullos. Mamá, eres la mejor persona que jamás conoceré. Te quiero mucho.

A mi padre Jaime Álvarez López, por haberme apoyado siempre en mis decisiones, por duras que hayan sido. Siempre has sido y serás mi referencia, la persona a la que admiro, uno de mis orgullos, la figura que deseo ver cada vez que me miro en un espejo. Espero poder ser tan buen padre para mis hijos como tú lo has sido para nosotros. Te quiero mucho papá.

A mi hermano Xisco Álvarez Castillo, por siempre saber cómo arrancarme una sonrisa y a quien quiero de manera incondicional. Xisco, has sido y siempre serás mi mejor amigo.

Al resto de mi familia, de quienes siempre he recibido cariño y apoyo incondicional: Mari Carmen Castillo, Saladina Álvarez, Ana Álvarez, Carmina Álvarez, Patria Ovalles, Francisco Castillo, Mateo Gordiola, David Gordiola, Patxi Gordiola, Rodrigo Castillo, Jaime García y Roberto García. Gracias a todos y a cada uno de vosotros, os quiero mucho.

A mi novia Deyanilsi Juma, quien más ha padecido la constante falta de tiempo, las horas sin dormir y el cansancio acumulado. Gracias por tu amor incondicional y por no haber dudado nunca de mí. Fuiste y eres uno de mis grandes pilares, sin ti esto no habría sido posible. Te quiero mucho mi amor.

A mis amigos en la distancia Pedro Gelabert, Toni Ensenyat, Miguel Ángel Orell, Jesy Aguilar, Natalia Roig y Sonia Martín. Gracias por vuestra amistad, que ni los más de 7.000 km que nos separan puede dañar.

A todas las personas con las que he tenido el privilegio de trabajar, especialmente a Gabriel Oliver, Josep Salvà, Gualberto Magallanes, Daniel Sagredo, Alfonso Rodríguez, Emmanuel Suárez, Wagner Severino, José Hernández y Elidy Herrera. De todos

ustedes he aprendido y sigo haciéndolo. Gracias por haber confiado en mí y haber sido mi inspiración para seguir mejorando.

A mis compañeros de tesis, Juan Terrero y Erik Herrera. Los resultados de este trabajo son el fruto de nuestro esfuerzo conjunto. Gracias por su esfuerzo y el comportamiento profesional del que hicieron gala durante el proceso.

A mis compañeros de estudios, con los que ha surgido una amistad que perdurará en el tiempo. Este logro no habría sido posible sin su ayuda, sin haber formado este equipo de profesionales que ha luchado codo con codo persiguiendo un sueño.

A todos los profesionales que han sido maestros y consejeros durante esta andadura, especialmente al Ing. Francisco Sánchez, al Dr. William Camilo, al Ing. Pedro Betancourt, al Ing. Emin Rivera, al Ing. Irving Rivera y al Ing. Carlos Vázquez. Con su experiencia, esfuerzo y paciencia han ido esculpiendo en nosotros un perfil profesional que no tiene precio.

A todas aquellas personas que de un modo u otro han formado parte de mi vida. Gracias también a vosotros. Tal vez vuestros nombres no están en este papel, pero si en mi mente.

Jaime Álvarez Castillo

De manera especial quiero dedicar este esfuerzo personal, académico, profesional y social, a tres seres especiales:

1. A Dios que día a día, sin importar las altas y bajas siempre se mantuvo brindándome fortaleza, amor y entendimiento de los procesos como humanos pasamos. ¡Gracias Dios!
2. A mis padres que de manera ferviente me instruyeron para ser un hombre de bien, guiándome, aconsejándome y brindándome su apoyo incondicional. Mi madre Manuela Valdez que siempre estaba atenta en todo y alentaba en darle prioridad a los estudios. Mi padre Bartolo Herrera siempre me daba fortaleza para seguir siendo mejor. ¡Gracias!
3. A mi hermana Rosmery Herrera que aun estando mis padres ausente (fuera del país) ella se encargó no hacerlo tan distante brindándome su apoyo día a día. ¡Gracias Manita!

Sin este conjunto de personas que me brindaron soporte, apoyo y consejo, no sería posible alcanzar esta meta. Gracias:

- Mis tíos Juan, Negrito y Pablo que siempre brindaron soporte.
- Mis primos Hansel y Cinthia me ayudaron me incondicional.
- Mis amigos Gabriel Linares, Michelle Romero, Juan, Dhery, Kevin, Jessica, Alberto, Pedro, Rashell, Abdiel y Ramona. ¡Gracias!
- Mis compañeros Juan Armando Terrero, Jaime Alvarez, Darlyng Reyes, Garibaldi Disla, Warner Méndez y Pedro De la Rosa que pasamos un buen tiempo junto para lograr un objetivo común. ¡Gracias chicos!
- Los docentes que me ayudaron a completar esta meta con apoyo moral y consejos de la vida como profesionales: Dr. William Camilo PhD,Ing. Carlos Raymond y Ing. Frank Núñez Ramírez, MSEE.
- A nuestro asesor Ing. Francisco Del Rosario Sánchez.

Cabe destacar que ciertas personas e instituciones (Iglesia y MESCyT) de manera directa e indirecta me ayudaron, apoyaron e incluso oraron para que completará de manera exitosa esta meta. ¡Gracias!

ERIK MELQUIDES HERRERA VALDEZ

INDICE

LISTA DE TABLAS 5

LISTA DE ILUSTRACIONES 6

INTRODUCCIÓN 8

CAPITULO I: EL BOMBEO SOLAR 10

1.1. Introducción a la ingeniería Eléctrica 10

1.1.1. La historia de la energía eléctrica y sus descubridores 10

1.1.2. Historia de la generación eléctrica 11

1.1.3. Generación de corriente directa. 12

1.1.4. Generación de corriente alterna. 12

1.1.5. Centrales de Generación 13

1.1.5.1. Centrales de Generación Termoeléctrica 13

1.1.5.2. Composición Planta de Generación Termoeléctrica 14

1.1.5.3. Tipos de Centrales de Generación Termoeléctricas: 15

1.1.5.4. Centrales de Generación Hidroeléctricas 16

1.1.5.5. Centrales de Generación Eólicas 17

1.1.5.6. Centrales de Generación Fotovoltaicas 18

1.2. Energía Solar Fotovoltaica 19

1.2.1. Historia de la energía fotovoltaica 19

1.2.2. Radiación Solar 20

1.2.2.1. Polvo y Suciedad 23

1.2.2.2. Ángulo de incidencia 23

1.2.3. Célula Solar 24

1.2.4. Asociación de dispositivos fotovoltaicos 25

1.2.4.1. Módulo fotovoltaico 25

1.2.5. Comportamiento Térmico del módulo.....27
1.2.6. Puntos Calientes 27
1.2.6.1. Generador fotovoltaico.....28
1.3. Sistemas fotovoltaicos de bombeo 30
1.3.1. Componentes principales del sistema 31
1.3.1.1. Generador.....32
1.3.1.2. Motobomba.....32
1.3.2. Características particulares de los motores eléctricos de corriente alterna 32
1.3.3. Bomba 36
1.3.4. Sistema hidráulico 36
1.3.5. Tipos de bombas.....37
1.3.5.1. Acoplamiento generador-motobomba.....44
1.3.6. Regulación a velocidad variable. 44
1.3.7. Variador de frecuencia 45
1.3.8. Regulación a velocidad constante. 50
1.3.9. Accionamiento de bombas centrífugas.....50
1.3.9.1. Protecciones hidráulicas 51
1.3.9.2. Circuito hidráulico 52
1.3.10. Aspectos de la hidráulica.....53
1.3.11. Hidrostática 55
1.3.12. El principio de Pascal 55
1.3.13. Hidrodinámica 55
1.3.14. Trinomio de Bernoulli.....56
1.3.15. Pérdidas longitudinales 56

1.3.16. Pérdidas puntuales.....57
1.3.17. Configuraciones típicas en sistemas de bombeo solar.....57
1.4. Beneficios de la Energía Solar Fotovoltaica 57
1.5. Antecedentes.....59
1.5.1. Ley de Incentivos a las Energías Renovables y Regímenes Especiales 60
1.5.2. Programa de Medición Neta en la República Dominicana 61
1.5.3. Propósito del programa de Medición Neta. 61
1.5.3.1. Estadísticas del programa de Medición Neta.....61
1.5.3.2. Bombeo Solar en la República Dominicana.....63
CAPITULO II: ANÁLISIS, PLANTEAMIENTO Y CÁLCULOS 64
2.1. Historia del Centro Olímpico Juan Pablo Duarte 64
2.1.1. Dirección y Teléfono.....68
2.1.2. Ubicación Geográfica 68
2.2. Historia del Patronato Acuático.....69
2.2.1. Dirección y Teléfono.....70
2.2.2. Ubicación Geográfica 71
2.3. Sistema de bombeo actual 71
2.3.1. Planta de instalaciones.....73
2.3.2. Diagrama unifilar 76
2.4. Dimensionado de los sistemas de bombeo 77
2.4.1. Determinación de las necesidades de energía hidráulica 77
2.4.2. Determinación de la energía solar disponible.....78
2.4.2.1. Ángulo de inclinación 79
2.4.2.2. Ángulo de Orientación 80

2.4.3. Dimensionado del generador 80
2.4.3.1. Potencia necesaria 80
2.4.3.2. Temperatura de trabajo de los módulos solares. 81
2.4.3.3. Arreglos eléctricos. 81
2.4.4. Valores de tensión 81
2.4.5. Valores de Corriente 83
2.4.6. Valores de Potencia 84
2.4.6.1. Área disponible. 85
2.4.6.2. Pérdidas dc en sistemas solares fotovoltaicos 85
2.4.6.3. Aporte energético del sistema DC 88
2.4.6.4. Fijación de Dióxido de Carbono 89
2.4.7. Dimensionado de motor 89
2.4.8. Dimensionado de la bomba 94
2.4.8.1. Datos requeridos para seleccionar bombas centrifugas 94
2.4.9. Dimensionado de las tuberías 97
2.5. Facturación eléctrica del Centro Olímpico Juan Pablo Duarte 98
CAPITULO III: PROPUESTA TÉCNICA 102
3.1. Energía solar disponible 102
3.2. Cálculos de los valores del panel solar 102
3.3. Áreas de techos disponibles 104
3.4. Sistema de Bombeos 106
3.5. Selección de los variadores de frecuencia 113
3.6. Cálculos de arreglos solares 114
3.7. Aporte energético del sistema 117
3.8. Resumen de propuesta técnica 118

CAPITULO IV: ANÁLISIS ECONÓMICO 120
4.1. Presupuesto.....120
4.2. Tiempo de retorno simple y rentabilidad de la inversión 120
CONCLUSIONES 122
RECOMENDACIONES 123
APÉNDICES. 124
ANEXOS 135
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 136

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad Instalada y Número de Clientes PMN 62
Tabla 2. Medidas de las Piscinas del Patronato.....69
Tabla 3. Desglose de pérdidas DC 88
Tabla 4. Diámetro de la tubería en función a la velocidad 98
Tabla 5. Facturación Centro Olímpico.....100
Tabla 6. Especificación del Modulo.....102
Tabla 7. Tensión máxima Voc.....103
Tabla 8. Tensión máxima Vmp.....103
Tabla 9. Corriente Máxima Icc 104
Tabla 10. Corriente Máxima Imp 104
Tabla 11. Cantidad de Paneles según Áreas de Techos Disponibles.....105
Tabla 12. Áreas de techos Patronato Acuático 106
Tabla 13.Caudal según tipo de piscina 106
Tabla 14. Caudal Piscina Olímpica 107
Tabla 15. Caudal Piscina Semi-olímpica.....107
Tabla 16. Caudal Piscina Calentamiento 108
Tabla 17. Potencia recomendada para motor-bomba.....108
Tabla 18. Selección de Bombas por método grafico.....113
Tabla 19. Selección de variadores por moto-bomba.....114
Tabla 20. Aislamiento para el número máximo de paneles.....114
Tabla 21. Tensión AC para número máximo de paneles 115
Tabla 22. Corriente máxima permitida para driver 016A-4.....115
Tabla 23. Corriente máxima permitida para driver 031A-4.....115
Tabla 24. Corriente máxima permitida para driver 046A-4.....115
Tabla 25. Potencia máxima requerida para driver 016A-4 116
Tabla 26. Potencia máxima requerida para driver 031A-4 116
Tabla 27. Potencia máxima requerida para driver 046A-4 117
Tabla 28. Cantidad de módulos requeridos 117
Tabla 29. Aporte energético del sistema.....118
Tabla 30. Cuadro resumen de propuesta técnica 118

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Central de Generación Termoeléctrica 14
Ilustración 2. Central de Generación Hidroeléctrica 16
Ilustración 3. Central de Generación Eólica 17
Ilustración 4. Central de Generación Fotovoltaica.....18
Ilustración 5. Mapa de Radiación global de Republica Dominicana.....22
Ilustración 6. Composición Célula Fotovoltaica.....24
Ilustración 7. Componentes de un Módulo Solar.....26
Ilustración 8. Diodos Bypass en Modulo Solar 28
Ilustración 9. Conexiones de Módulos Fotovoltaicos 29
Ilustración 10. Esquema de un Sistema Solar para Bombeo de Agua.....31
Ilustración 11. Placa Característica de un Motor Eléctrico. 34
Ilustración 12.Diagrama de un Sistema Hidráulico.....37
Ilustración 13. Clasificación de la Bomba según Eje.....38
Ilustración 14.Corte longitudinal de una bomba Monobloc para alta presión. ...39
Ilustración 15.Vista exterior de una bomba de silla montada en fábrica sobre base estructural. 40
Ilustración 16. Bomba con caja partida horizontal destapada 41
Ilustración 17. Bombas centrifugas de eje vertical. 42
Ilustración 18. Bombas sumergibles. 43
Ilustración 19. Curva de variación de velocidad en una bomba 44
Ilustración 20. Curva de Potencia con Variación de Velocidad 45
Ilustración 21. Diagrama Variador de Frecuencia 46
Ilustración 22. Diagrama en bloques.....47
Ilustración 23. Grafica del Comportamiento de la Corriente de Arranque y de Par del Motor. 51
Ilustración 24. Funcionamiento del Sistema de Bombeo 53
Ilustración 25. Estadísticas Programa Medición Neta.....62
Ilustración 26.Cartel Oficial de los XII Juegos Centroamericanos y del Caribe de República Dominicana 1974 64
Ilustración 27. Fotografía Aérea Centro Olímpico durante su Construcción 66

Ilustración 28.Ubicación Centro Olímpico Juan Pablo Duarte. 68
Ilustración 29. Ubicación Patronato Acuático 71
Ilustración 30. Bombas Existentes 72
Ilustración 31. Instalaciones Actuales de las Piscinas 73
Ilustración 32. Ubicación Cuarto de Maquinas 74
Ilustración 33. Ubicación Gradas 75
Ilustración 34. Diagrama Unifilar de las Instalaciones 76
Ilustración 35. Diagrama de relación de pérdidas DC 86
Ilustración 36. Resolución SIE 99
Ilustración 37. Grafica característica de las bombas 109
Ilustración 38. Selección de bombas para la Piscina Olímpica según grafica.110
Ilustración 39. Selección de bombas para la Semi-Olímpica 111
Ilustración 40. Selección de bombas para piscina de calentamiento 112
Ilustración 41. Diagrama de la propuesta del sistema de Bombeo Solar 119

INTRODUCCIÓN

El uso de energía eléctrica es de vital importancia en la sociedad actual, ya que esta facilita la vida diaria de las personas. Esta energía, que se puede obtener por medio de combustibles fósiles o fuentes renovables, ha ido derivando cada vez más en el uso de fuentes renovables, que son mucho más respetables con el medio ambiente y que permiten combatir de una manera directa la contaminación que provoca el famoso efecto invernadero. Además, como es el caso de República Dominicana, este tipo de energías cuentan en muchos países con una serie de incentivos y exoneraciones para su implementación, por lo que su participación en la matriz energética del país ha aumentado considerablemente en los últimos 5 años.

El centro olímpico Juan Pablo Duarte, es el complejo deportivo más utilizado en la república dominicana tanto por atletas para sus prácticas diarias o por el público en general como medida de recreación en cualquiera de sus áreas. En dicho centro existen varias instalaciones las cuales abastecen su demanda energética del sistema eléctrico nacional interconectado (SENI), lo cual conlleva a un alto consumo en facturación por parte del centro. Entre las instalaciones de este complejo, se encuentran las piscinas olímpicas administradas por el patronato acuático, las cuales están compuestas por varias bombas que tienen una alta demanda eléctrica ya que las mismas no dejan de trabajar al menos que sea para realizarles mantenimiento.

El presente trabajo de grado tiene como objetivo principal, proponer un Sistema de Bombeo Solar para la recirculación del agua en las instalaciones de las piscinas del Centro Olímpico Juan Pablo Duarte y así sustituir el sistema tradicional que se utiliza actualmente en dichas instalaciones. Para el desarrollo de este proyecto, se llevaron a cabo estudios para conocer las condiciones actuales en el centro y ver qué tan factible sería la propuesta. Se propone el cambio con el fin de auxiliar el medio ambiente, reduciendo la propagación de gases en cuanto a producción de electricidad con fuentes convencionales, también reducir la facturación de energía

dependiente sistema eléctrico nacional, dicha energía se puede utilizar para abastecer otras áreas más necesitadas, e incentivar al uso de esta tecnología.

En definitiva, con todo lo mencionado anteriormente, a continuación, se desarrolla la propuesta, la cual es de gran importancia, ya que con ella se ayudaría de manera sustanciosa al desarrollo de las energías renovables y reducir así la dependencia que tiene el centro deportivo del SENI.

CAPITULO I: EL BOMBEO SOLAR

1.1. Introducción a la ingeniería Eléctrica

1.1.1. **La historia de la energía eléctrica y sus descubridores**

Grandes científicos contribuyeron al desarrollo de la energía eléctrica, entre los cuales se pueden mencionar a Alessandro Volta, Charles-Augustin de Coulomb, André-Marie Ampère, ellos y otros investigadores más, fueron los encargados de impulsar de los grandes descubrimientos científicos y tecnológicos de los siglos XVIII y XIX, dando paso a la revolución industrial, y a la consagración definitiva de la energía eléctrica. (Twenergy, 2012)

Anterior a esto, los griegos habían descubierto en las laderas de la ciudad de Magnesia un insólito fenómeno con el cual, en algunas zonas, piedras de tamaños pequeños se atraían sin razón lógica. La típica explicación tradicional de la electricidad estática aplicada a la cabellera del díscolo de la clase no va más allá de la representación de una escena la cual fue relatada por Tales de Mileto al descubrir que frotando con lana una varilla de ámbar se conseguía atraer diminutos objetos e inclusive se podía provocar alguna chispa de pequeño tamaño. Como los que provocan los rayos de las tormentas al caer, los cuales pueden provocar incendios, matar personas y ganado, este efecto de los rayos fue neutralizado en el 1753 por Benjamin Franklin, el cual creo el pararrayos, hasta hoy en día vigente como entonces. (Twenergy, 2012)

Luego de las primeras curiosidades científicas se empezó a avistar el verdadero potencial de la energía eléctrica. Sin duda alguna los acontecimientos sociales generados en el siglo XVIII fueron los que estimularon la capacidad de los científicos de la época para poner en funcionamiento inventos e ideas para el desarrollo industrial y el de las revoluciones acontecidas a partir de ese momento y de las que es producto nuestra sociedad actual. (Twenergy, 2012)

Luego de esto, en el siglo XIX, durante el desarrollo tecnológico, la electricidad dio un salto a campos tan insospechados, en un primer momento, como las telecomunicaciones: el teléfono, la radio y el código Morse. (Ingenierobeta, 2018)

A medida que la historia fue avanzando, se fueron evolucionando nuevos desarrollos y cada vez era más necesaria la búsqueda de instrumentos para la realización de operaciones y comparación de resultados, por lo cual a partir del siglo XIX comenzaron a aflorar una serie de productos que permitían realizar dichas mediciones:

- Galvametro multiplicador (Poggendorf & Shcweigger)
- Medidor de potencial eléctrico (Thompson & Harris)
- Puente de resistencias (Wheatstone & Thompson)
- Bobina de resistencia eléctrica (Ohm)

En pleno siglo XXI, la energía eléctrica debe ser garantizada para el uso y bienestar de la sociedad, ya que la misma nos brinda una vida más cómoda al día a día. La producción de energías por fuentes convencionales o renovables debe asegurar a la población que se tendrá un abastecimiento seguro cuando se necesite la misma. (Ingenierobeta, 2018) (Twenergy, 2012)

1.1.2. **Historia de la generación eléctrica**

Las primeras investigaciones científicas a la electricidad fueron realizadas por científicos sistemáticos en los siglos XVII y XVIII como Gilbert, von Guericke, Henry Cavendish, Du Fay, van Musschenbroek y Watson. Estas observaciones empiezan a dar sus frutos con Galvani, Volta, Coulomb y Franklin, y, ya a principios del siglo XIX, con Ampère, Faraday y Ohm. Luego de esto, el adelanto de una teoría que agrupa la electricidad con el electromagnetismo como dos manifestaciones de un mismo fenómeno no fue alcanzado hasta la formulación de las ecuaciones de Maxwell en los años 1861 a1865. (Monografias, 2017)

1.1.3. **Generación de corriente directa.**

El principio básico de generación de electricidad por medios mecánicos, se basa en la “Ley de Inducción de Faraday”, la cual establece lo siguiente:

1. Si el flujo que vincula un lazo (o vuelta) varía como una función de tiempo, se induce un voltaje entre sus terminales.

2. El valor del voltaje inducido es proporcional a la velocidad de cambio del flujo. La ley de Faraday de inducción electromagnética abrió la puerta a un sinnúmero de aplicaciones prácticas y estableció la base de operación de transformadores, generadores y motores de corriente alterna. (Wildi, 2007)

En 1831 Michael Faraday realizó importantes descubrimientos que probaban que efectivamente un campo magnético puede producir una corriente eléctrica, pero siempre que algo estuviera variando en el tiempo. (Wildi, 2007)

1.1.4. **Generación de corriente alterna.**

El físico e ingeniero Nikola Tesla, creador del transformador resonante, conocido como “Bobina de Testa”, se le otorgo el nombre a la maquina en honor a su creador, quien la patentizo en 1891 a los 35 años de edad. Las bobinas de Tesla están compuestas por una serie de circuitos eléctricos resonantes acoplados. En realidad, Nikola Tesla experimentó con un gran número de bobinas y configuraciones, por lo que no se puede describir un modo específico de construcción que convenza a todo aquel que habla sobre las bobinas de Tesla. Las primeras bobinas y las bobinas posteriores varían en configuraciones y montajes. Generalmente las bobinas de Tesla crean descargas eléctricas de alcances del orden de metros, lo que las hace muy espectaculares. (academiaedu) (scribd, 2012)

1.1.5. **Centrales de Generación**

Son instalaciones con capacidad de obtener energía final, y la electricidad por medio de diferentes fuentes de energías primarias. Acostumbradamente, este tipo de centrales generan a partir de energías no renovables, ya sea con gas natural, carbón, fuel oíl o diésel. Con el pasar de los tiempos, las tecnologías y la aparición de necesidades por el desarrollo de las redes eléctricas en cuidado al medio ambiente, surgieron otro tipo de centrales de generación que se basan en las energías renovables. (Twenergy, 2012)

Los diferentes tipos de centrales van directamente relacionadas con la fuente primaria de energía que utilizan para generar la electricidad. Así, es de mayor facilidad para distinguir entre centrales de ciclo combinado, que emplean gas natural, centrales solares que utilizan la energía del sol convirtiéndola a través de paneles solares o los parques eólicos, que aprovechan el viento para generar electricidad. (Twenergy, 2012)

1.1.5.1. Centrales de Generación Termoeléctrica

Son instalaciones en las cuales se obtiene energía eléctrica a partir del vapor que se forma al en una caldera cuando hierve agua en su interior, dicho vapor es utilizado para mover el rotor de un generador y así producir electricidad. El vapor que se genera contiene una alta presión, este se envía a las turbinas para que en su expansión sea capaz de mover los álabes de las mismas.

Las centrales termoeléctricas trabajan a base de fuel oíl, carbón o gas natural. En dichas centrales la energía de la combustión producida por los comburentes ya mencionados se emplea para hacer la transformación del agua en vapor.

Los componentes de una central termoeléctrica son una caldera y una turbina que mueve el generador eléctrico para la producción de electricidad. La caldera es el

elemento de suma importancia, y en ella se produce la combustión del carbón, fueloil o gas.

1.1.5.2. Composición Planta de Generación Termoeléctrica

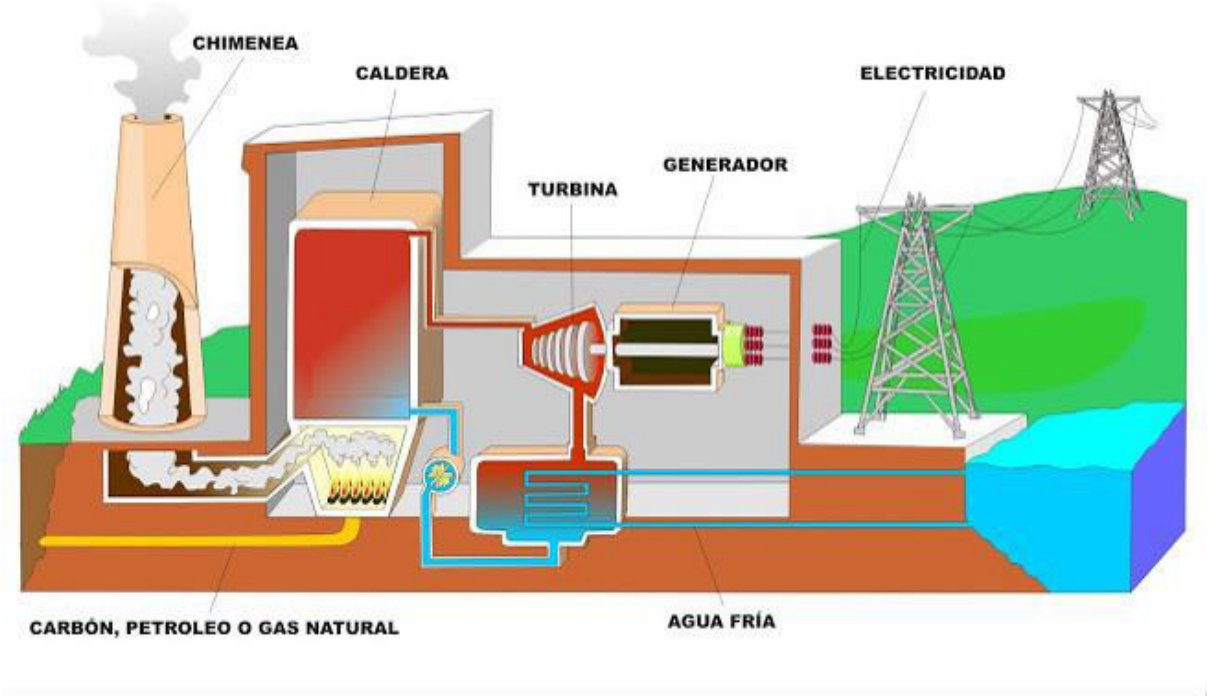


Ilustración 1. Central de Generación Termoeléctrica

Fuente: tecnologiaseptimorgh2015.blogspot.com2015.

1) Chimenea: Conducto por donde son expulsados a la atmósfera, los gases y subproductos resultantes del proceso de combustión, dependiendo el tipo de combustible utilizado los efectos de la contaminación son distintos.

2) Caldera: En esta se transfiere el calor del combustible que se quema a los tubos de agua, los cuales rodean las llamas. (Wildi, 2007)

3) Turbina: En su interior se provecha la energía producida por el vapor sobrecalentado y se transforma en energía mecánica. (Wildi, 2007)

4) Generador: Convierte la energía mecánica producida por la turbina, para transformarla en electricidad. (Wildi, 2007)

5) Electricidad: luego realizarse los procesos ya mencionados anteriormente se obtiene como resultado final la electricidad, la cual se transmite por torres de alta tensión hasta llegar a su destino final, en este caso el consumo. (Wildi, 2007)

1.1.5.3. Tipos de Centrales de Generación Termoeléctricas:

Según el tipo de la energía utilizada para calentar el agua, estas pueden ser:

1) **Centrales Térmicas Clásicas:** Son también conocidas como termoeléctricas o simplemente térmicas**:** obtienen la energía del proceso de combustión de combustibles fósiles (carbón, gas natural) o sus derivados (fuel-oil).

2) **Centrales Térmicas Nucleares**: Obtienen la energía por el proceso de reacciones de fisión de los átomos de uranio.

3) **Centrales Térmicas Solares**: En este tipo de centrales se calienta el agua concentrando la *energía* que procede del sol.

4) **Centrales Geotérmicas**: Trabajan aprovechando el calor que proviene del interior de la tierra para generar energía eléctrica.

5) **Centrales Térmicas Ciclo Combinado:** Son centrales muy eficientes ya que estas contienen dos procesos para la generación en la que la energía térmica del combustible se transforma en electricidad mediante dos ciclos termodinámicos: el correspondiente a una turbina de gas (ciclo Brayton) y el convencional de turbina vapor (ciclo Rankine).

La turbina de gas consta de un compresor de aire, una cámara de combustión y la cámara de expansión. El compresor se encarga de comprimir el aire a una alta presión para combinarlo después en la cámara de combustión con el gas. En esta cámara se produce la combustión en unas condiciones de temperatura y presión que permiten mejorar el rendimiento del proceso, con el menor impacto ambiental posible. A continuación, los gases de combustión se conducen hasta la turbina de

gas para su expansión. La energía se transforma, a través de los álabes, en energía mecánica de rotación que se transmite a su eje. (UNESA)

1.1.5.4. Centrales de Generación Hidroeléctricas

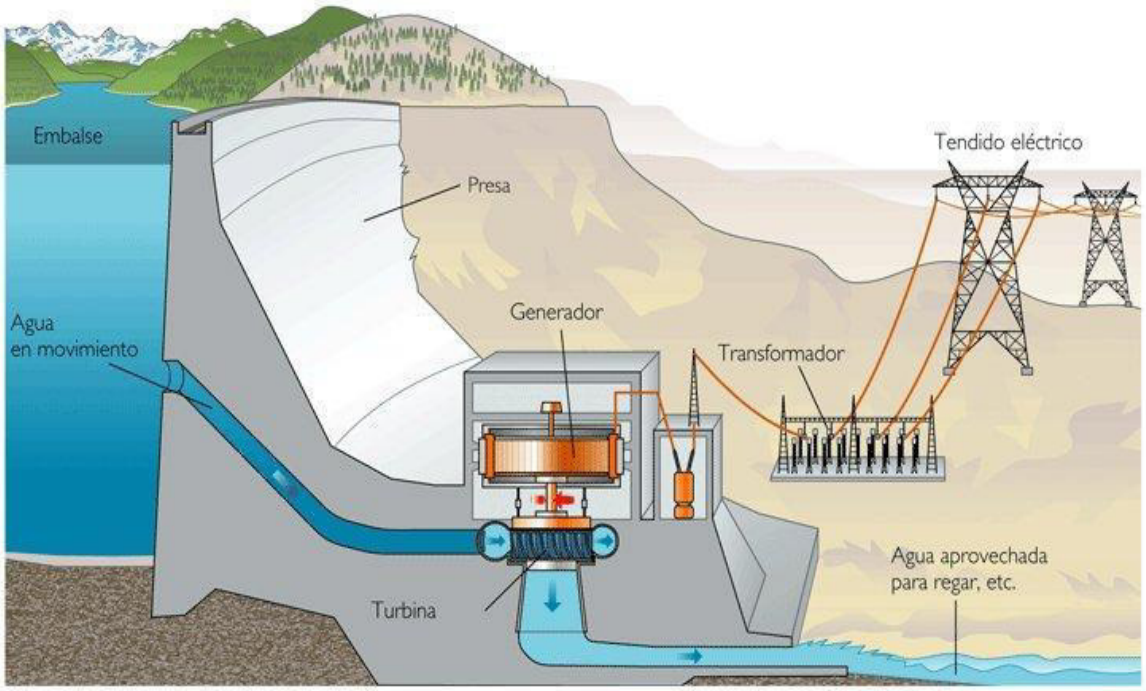


Ilustración 2. Central de Generación Hidroeléctrica

Fuente: tecnologiaseptimorgh2015.blogspot.com, 2015

Estas centrales de generación utilizan la energía hidráulica procedente del embalse para la generación de energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas son la evolución de los molinos antiguos que aprovechaban la corriente de los ríos para girar una rueda.

Estas centrales aprovechan la energía potencial que proviene de un cauce natural de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua pasa por dos niveles del cauce en su caída, se hace pasar por una turbina hidráulica la cual

transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica. (tecnología séptimo, 2015)

1.1.5.5. Centrales de Generación Eólicas

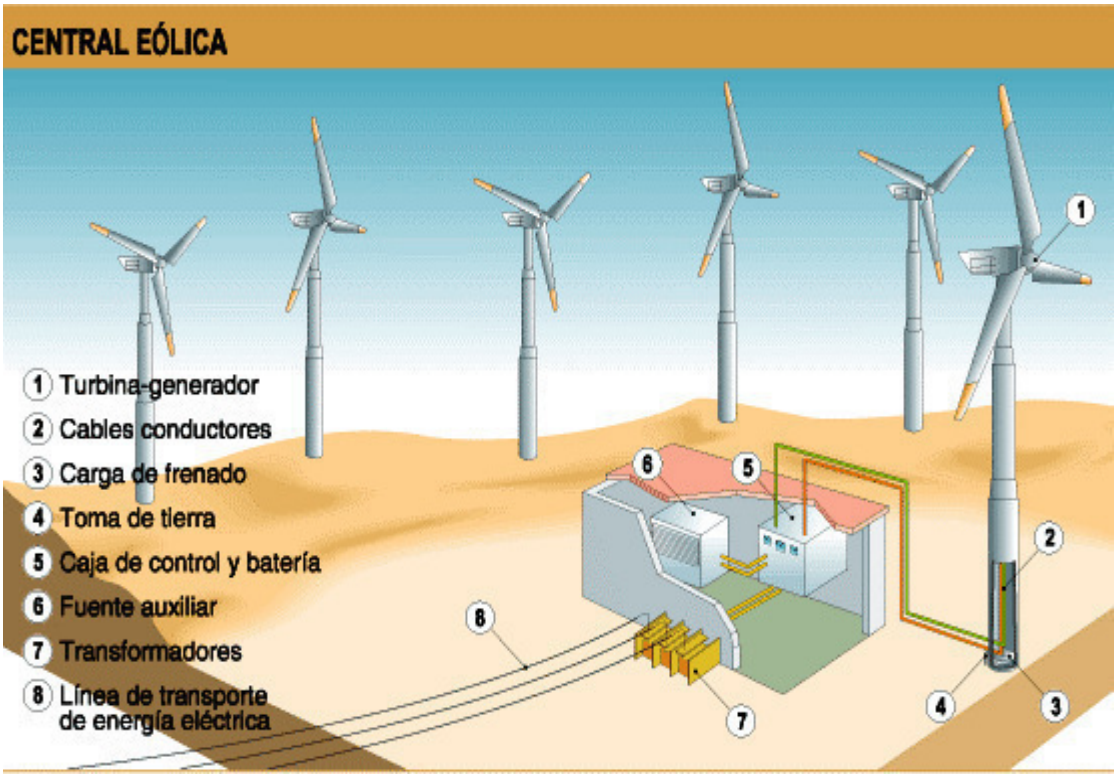


Ilustración 3. Central de Generación Eólica

Fuente: tecnologiaseptimorgh2015.blogspot.com, 2015.

Las centrales de generación eólica son aquellas en que la energía obtenida es la 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.

El viento se produce por la diferencia de temperatura existente en las distintas capas de aire de la atmósfera. Estas masas de aire a distinta temperatura generan diferencias de presión. El aire se mueve de los lugares donde existe una mayor presión a los lugares donde la presión es menor, y es este movimiento el que produce el viento.

En general, los aerogeneradores suelen estar sobre una torre de gran altura, ya que la velocidad del viento es mayor cuanto más alto nos encontramos**.** También existen aerogeneradores más pequeños, que pueden aportar la energía necesaria a zonas que están aisladas. (elblogverde.com, 2016)

1.1.5.6. Centrales de Generación Fotovoltaicas

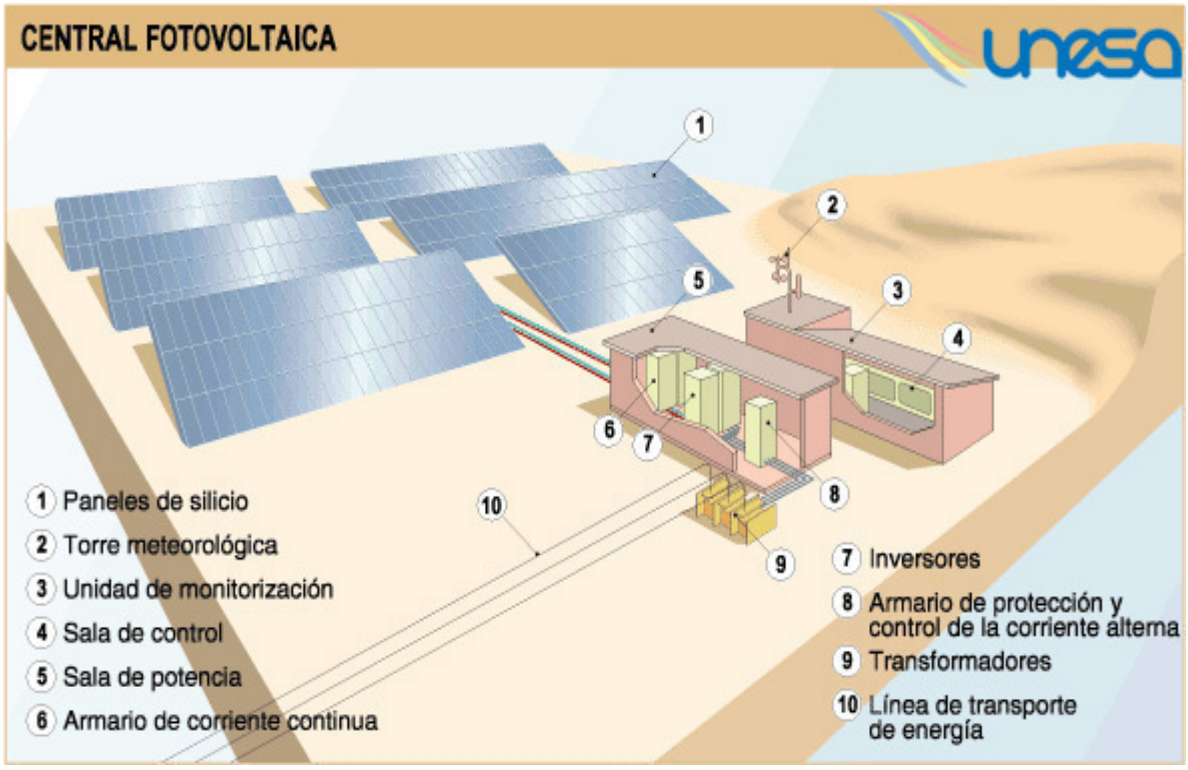


Ilustración 4. Central de Generación Fotovoltaica

Fuente: unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas

El funcionamiento de una central fotovoltaica se resume de la siguiente manera:

Como elemento principal en una central fotovoltaica esta la agrupación de células fotovoltaicas o conocido como paneles solares, su trabajo es captar la energía solar, transformándola en corriente eléctrica continua mediante el efecto fotoeléctrico. Las mismas están integradas, primero en módulos y después se forman con ellos los paneles fotovoltaicos (1). Lógicamente, el clima influye bastante para la producción de electricidad de dichas células, ya que a menor

radiación solar menos es la cantidad de energía que se puede inyectar al sistema. Dichas condiciones son medidas y analizadas con la ayuda de una estación meteorológica (2). (UNESA)

Como la energía eléctrica que circula por la red de transporte lo hace en forma de corriente alterna, la corriente continua generada en los paneles solares debe ser transformada a corriente alterna. Para esto se envía a un armario de corriente continua (4), donde se convierte en corriente alterna por medio de un inversor (5) y posteriormente es transportada a un armario de corriente alterna (6). (UNESA)

Finalmente, la energía eléctrica producida pasa por un centro de transformación en el cual se mantiene dicha energía en los rangos de (7) intensidad y tensión de las líneas transmisión (8) para luego ser utilizadas en los centros de consumo.

Para supervisar los equipos de la central se utiliza la sala de control y así tener un mayor control sobre estos (3).

1.2. Energía Solar Fotovoltaica

1.2.1. Historia de la energía fotovoltaica

En el 1839, el físico francés Alexadre-Edmong Becquerel descubrió por primera vez en la historia el efecto fotovoltaico. Sin embargo, no es hasta el 1883 cuando el inventor norteamericano Charles Fritts construye la primera celda solar, la cual sólo contaba un 1% de eficiencia. Esta se fabricó con una base de Selenio como semiconductor y una capa delgada de oro. La baja eficiencia y el alto costo de esta celda limitaron su uso a sensores de luz para cámaras fotográficas.

Para el año 1940 se construyó la primera celda con que utilizó el Silicio como semiconductor (principal material utilizado en la actualidad), y patentado en el 1946. El autor de este invento fue el norteamericano Russell Ohl.

Posteriormente, durante el año 1954, en los laboratorios Bell descubrieron de manera fortuita que si estos semiconductores se dopaban con algunas impurezas aumentaban su sensibilidad.

Se puede decir que la primera utilización práctica que se le dio a los paneles solares fue en satélites geoestacionarios de la URSS y USA. Para esa época los paneles contaban con una eficiencia de un 6%. El éxito de los primeros satélites que utilizaban la radiación solar para generar la energía que se requería para el funcionamiento de los satélites desató un mercado de paneles para uso aeroespacial. El proyecto más exitoso al respecto es la estación espacial internacional, que cuenta con 864 m^2 de celdas fotovoltaicas.

En el siglo XXI, la energía fotovoltaica cumple también un rol en un desarrollo sostenible medio ambiental. A medida que los años pasan, la demanda de energía se incrementa, y con los medios convencionales, también aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero.

Actualmente, la energía fotovoltaica ha conseguido competir directamente frente a sistemas de generación convencionales. Los aumentos en las fuentes convencionales (petróleo, gas, carbón, etc.) y el abaratamiento de los paneles solares. Debido en gran medida a una economía de escala, han favorecido este hecho. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.2.2. **Radiación Solar**

El Sol, objeto central del Sistema Solar, se encuentra a una distancia promedio de 150 millones de kilómetros. Constituido en su mayoría por Hidrógeno y Helio, el Sol es el elemento que aporta la mayor energía a la Tierra. Gracias a las reacciones nucleares que se dan en su interior, el Sol emite por segundo $4x10^{26}$ Joules de energía, el equivalente a la energía que se necesitaría para cubrir la demanda actual durante 500,000 años.

La radiación emitida por el Sol, fruto de las reacciones nucleares, se dispersa de en todas las direcciones, apenas sufriendo pérdidas hasta que alcanza la atmósfera de la tierra. Se estima que un valor promedio de esta radiación que se recibe en la atmósfera es de 1,367 W/m². Hay que tener en cuenta que la tierra dibuja una órbita elíptica, por lo que la cantidad de radiación que se recibe depende también de la distancia a la que se encuentre la Tierra del Sol.

Esta radiación, durante su paso por la atmósfera (o la masa de aire), es sometida a diversos procesos que provocan su debilitación. Entre otros destacan:

- Difusión de Mie: Longitud de onda similar al tamaño de partícula.
- Difusión no selectiva: longitud de onda mucho menor que el tamaño de la partícula.
- Difusión de Rayleigh: Longitud de onda mucho mayor que la partícula.

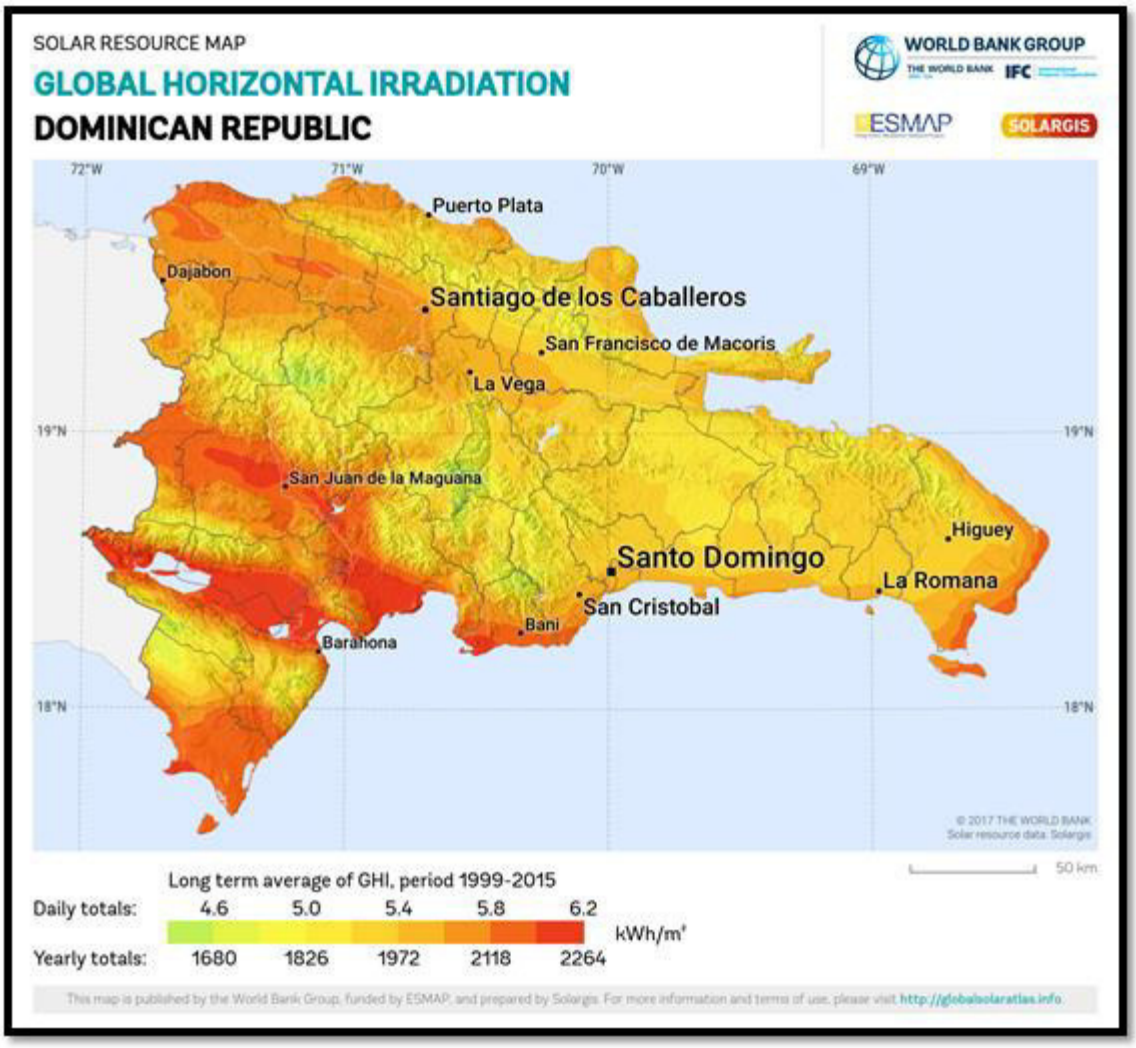


Ilustración 5. Mapa de Radiación global de Republica Dominicana

Fuente: Solargis

Se distinguen cuatro lecturas de radiación diferentes:

- Radiación normal: Se obtiene dirigiendo la superficie de captación directamente hacia el Sol.
- Radiación Horizontal: Se obtiene al medir sobre el plano horizontal de la tierra.
- Radiación Difusa Horizontal: Es la radiación que proviene del domo celeste, restando la radiación directa del Sol.

- Radiación Global Horizontal: Es la que suma la radiación horizontal y la radiación difusa horizontal.

República dominicana se encuentra en un lugar privilegiado para el aprovechamiento de sistemas que tengan como fuente principal la energía solar. Como se puede apreciar en el mapa de radiación global horizontal, las zonas del Sur del país y del Oeste son las que poseen mayores niveles de radiación. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.2.2.1. Polvo y Suciedad

La suciedad acumulada en la superficie de los módulos altera las propiedades angulares (o causas por reflexión) y reduce la transmitancia del vidrio.

Teniendo en cuenta que los módulos se encuentran expuestos a diversos factores ambientales (animales, polvo, resinas vegetales de árboles, etc.) es normal contemplar que los módulos van a estar expuestos a pérdidas por este motivo. Aunque es cierto que hay que tener en cuenta la cantidad de factores ambientales que afectan a la superficie de captación solar, y de qué tanto afecten estos, en el momento en que se calculen los valores de generación de un sistema hay que contemplar un porcentaje de pérdidas por suciedad. Típicamente se utiliza un valor que oscila entre un 2% y un 3%, aunque cada caso es único y se debe evaluar independientemente. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.2.2.2. Ángulo de incidencia

En los sistemas estáticos, en los que el plano de captación solar no varía su ángulo ni azimuth, el ángulo de incidencia de los rayos solares está en su mayoría fuera de la normal (ángulo de 90° con el Sol). Esta diferencia de ángulo frente a la normal incrementa los niveles de reflexión, y, por lo tanto, aumenta las pérdidas provocadas por este efecto.

El ángulo de incidencia del plano es un importante factor a tener en cuenta en el diseño de cualquier instalación fotovoltaica. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.2.3. **Célula Solar**

La célula solar fotovoltaica es un dispositivo electrónico, generador de energía, compuesto principalmente por Silicio y que es capaz de convertir la radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico consiste en que un fotón golpea un electrón, generando un "hueco" en el átomo que está excitado. Este "hueco", unido al electrón libre, genera una diferencia de potencial que es aprovechada para generar electricidad.

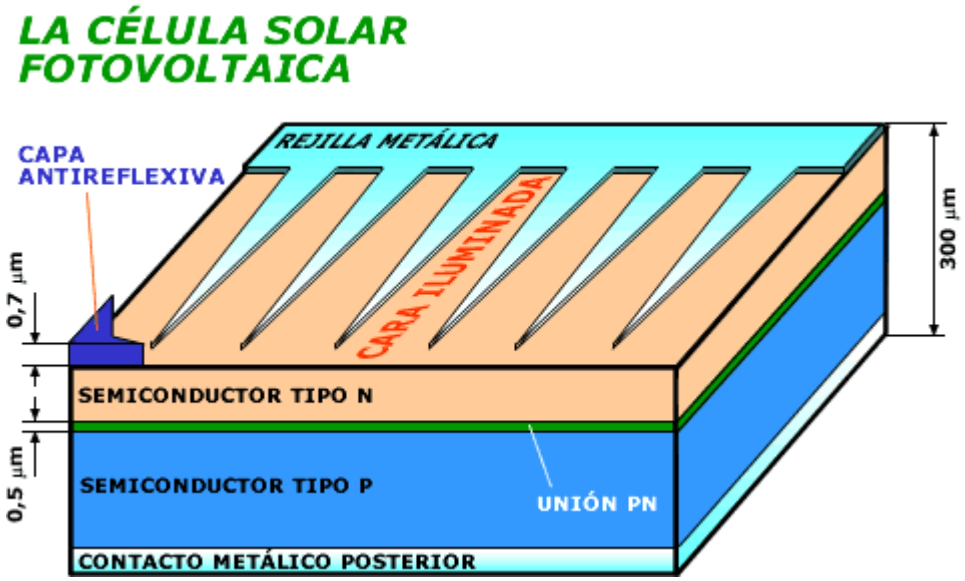


Ilustración 6. Composición Célula Fotovoltaica

Fuente: www.ujaen.es

La célula está formada por dos capas dopadas, una p y una n:

- **Capa superior de la celda**: Silicio dopado tipo n. Se concentra un número mayor de electrones libres. Se considera el elemento negativo.
- **Capa inferior de la celda**: Silicio dopado tipo p. Se concentra un número mayor de "huecos". Se considera el elemento positivo.

Existen tres tipos principales de células:

- **Células de silicio mono-cristalino**. Poseen la mayor eficiencia (alrededor de un 22%). Posee una estructura cristalina continua (no posee interrupciones). Tienen un color homogéneo y se distinguen fácilmente en los módulos porque tienen un corte en sus esquinas.
- **Células de silicio poli-cristalino** (o multicristalino). Está formada por diversos cristales, como consecuencia de su enfriamiento en molde. Su eficiencia ronda el 16%. Es posible distinguirlas por su clásico veteado, así como por ser totalmente cuadradas o rectangulares.
- **Células de silicio amorfo**. Son las células con la eficiencia más baja (6%). Se genera a través de un gas que se proyecta sobre una lámina de vidrio. Se utiliza en pequeños dispositivos mayormente.

(Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.2.4. **Asociación de dispositivos fotovoltaicos**

1.2.4.1. Módulo fotovoltaico

Las células solares tienen una entrega muy pequeña de energía y son muy frágiles, por lo que estas se interconectan en arreglos en serie y en paralelo para conseguir la corriente y la tensión necesarias para poder darle un uso. De esta asociación de células se obtienen los módulos solares.

Los módulos solares se encuentran protegidos y aislados: en su superficie por un cristal de muy baja reflexión, en su parte trasera por una lámina de polímero termoplástico y un marco de aluminio en sus laterales. Las células, por su parte, se encuentran encapsuladas entre dos capas de EVA (Etileno-Vinilo-Acetato).

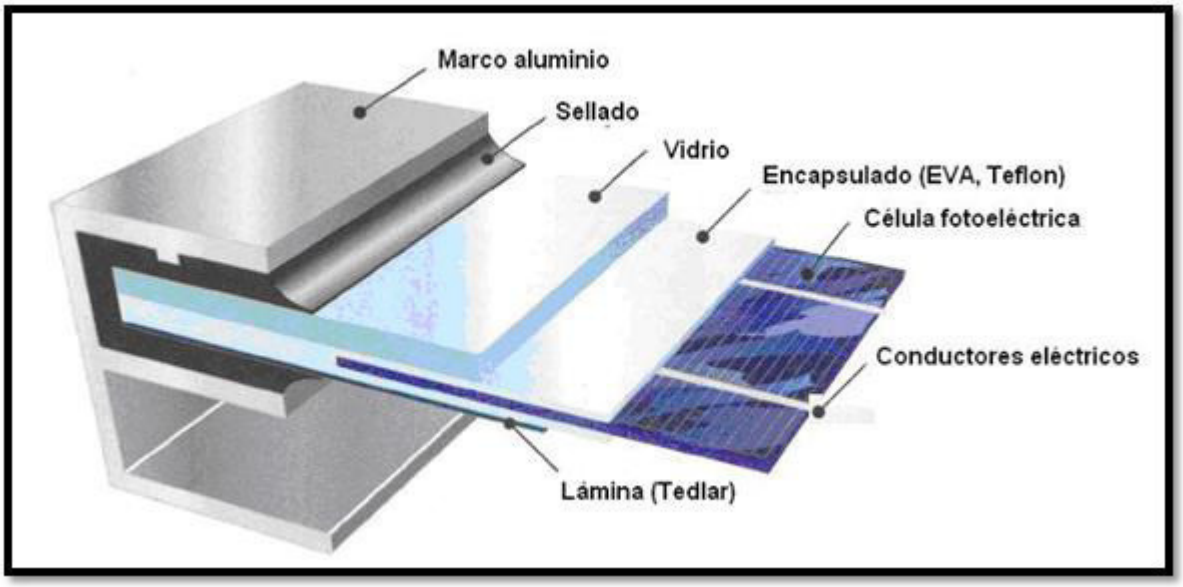


Ilustración 7. Componentes de un Módulo Solar

Fuente: www.autoconsumolarioja.com

La función del cristal es la de garantizar una protección física contra impactos y la abrasión. Normalmente, se utiliza vidrio templado para su construcción con algún tratamiento anti reflexivo. Por otro lado, las capas de EVA garantizan un buen aislamiento de las células.

El marco de aluminio anodizado tiene como principal función la de aportar mayor robustez al conjunto, así como de punto de anclaje del módulo a la estructura de fijación.

En el mercado se pueden encontrar una gran variedad de paneles. Una de las mayores diferencias que podemos encontrar en los módulos es la configuración

eléctrica, fruto del diseño de arreglos. Si distinguimos los paneles solares por la potencia, podemos encontrar en el mercado potencias que van desde los 35 vatios hasta los 400. Si los clasificamos por tensión, el rango puede variar entre los 18 y los 50 voltios. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.2.5. **Comportamiento Térmico del módulo**

Los valores eléctricos que figuran en las fichas técnicas de los módulos están basados en unas condiciones estándar, en donde el valor específico de temperatura es de 25°C.

Si tenemos en cuenta que el panel no es capaz de aprovechar el 100% de la energía que le llega en forma de radiación, nos daremos cuenta de que hay una energía que se pierde, y que en el caso de los módulos se transforma en calor al entorno.

Además, la eficiencia del módulo disminuye a medida que este aumenta su temperatura, afectando directamente a la tensión del módulo. A mayor temperatura, menor tensión de módulo, por lo que, a la hora de instalarlos, y teniendo en cuenta que el único mecanismo que utiliza el módulo para desprenderse de este calor es mediante convección, conviene tener en cuenta que el panel debe tener siempre espacio suficiente en el espacio donde se encuentren instalados para poder disipar. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.2.6. **Puntos Calientes**

Cada una de las células que componen el módulo posee valores diferentes. En el caso de que alguna de estas células no pueda alcanzar el mismo valor de fotocorriente que el resto puede dañarse hasta el punto de dañar el módulo. Los motivos para tener esta diferencia pueden ser variadas, como efectos de producción o sombras parcializadas.

En el caso de que tengamos un módulo o célula que represente una diferencia considerable con el resto, esta se podría convertir en una carga para el resto de los componentes solares. Al convertirse en carga, esta aumenta su temperatura hasta que se produce un “punto caliente”, lo que provoca un aumento en la temperatura de las células que rodean a la dañada y que puede dejar inservible un módulo completo.

Un método común para paliar este efecto es de la instalación de diodos de paso, los cuales logran aislar partes del módulo e impidiendo que estas reciban corrientes del tipo carga. Como estándar de la industria, los paneles solares traen uno o varios diodos instalados en bypass, que aíslan grupos de células o ramas. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

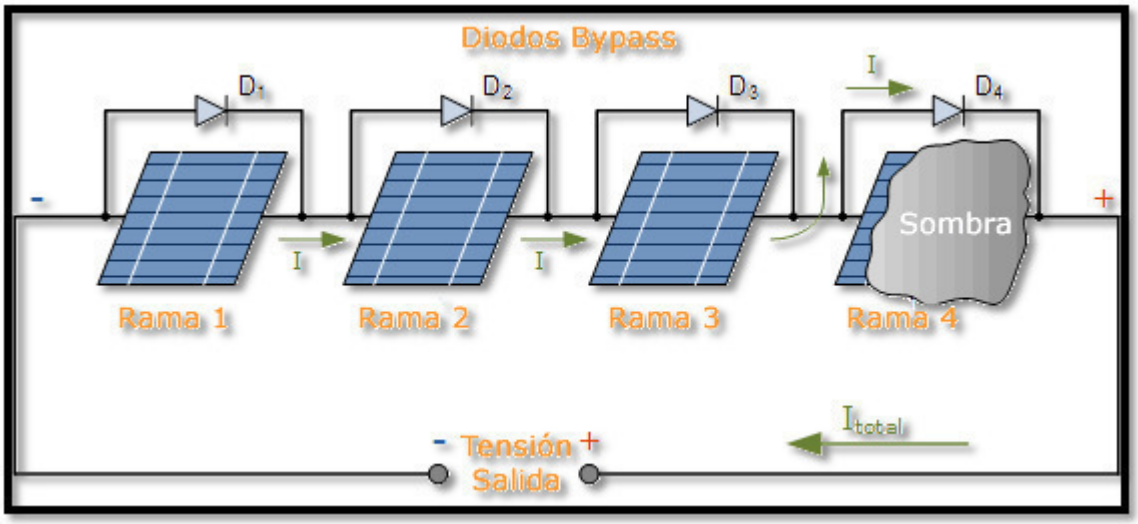


Ilustración 8. Diodos Bypass en Modulo Solar

Fuente: www.sfe-solar.com

1.2.6.1. Generador fotovoltaico

Se conoce como generador fotovoltaico a la asociación eléctrica de paneles solares fotovoltaicos que se realiza para lograr las condiciones idóneas para una aplicación concreta.

Del mismo modo que los arreglos en las células, la tensión máxima vendrá definida por la cantidad de módulos que se conecten en serie, mientras que la corriente máxima vendrá marcada por la cantidad de paneles en paralelo.

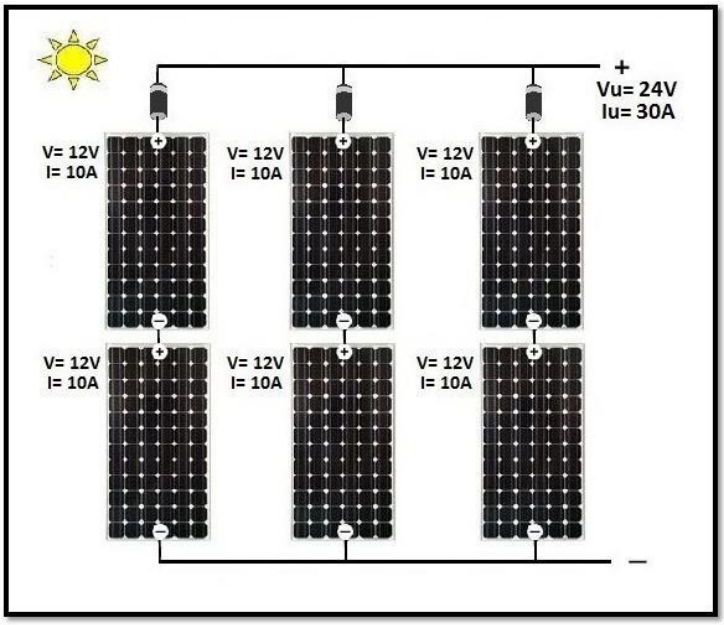


Ilustración 9. Conexiones de Módulos Fotovoltaicos

Fuente: www.mpptsolar.com

Un factor importante a tener en cuenta son las pérdidas por dispersión de parámetros. Esto no es más que el valor de corriente máximo será el mínimo del arreglo en serie, y que la tensión máxima será la mínima de los arreglos en paralelo. Estas discrepancias en los valores de los paneles se deben al mismo proceso de manufactura. Se utiliza como buena práctica la clasificación de los paneles por sus valores reales. De este modo, se pueden hacer arreglos que sean más homogéneos y por lo tanto minimizar las pérdidas de dispersión. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.3. Sistemas fotovoltaicos de bombeo

Una instalación de bombeo de agua solar, consiste básicamente en la sustitución de la fuente tradicional de energía eléctrica (red nacional eléctrica), por un sistema de generación de energía eléctrica a través de paneles solares. Las bombas utilizadas en estas instalaciones, son específicamente para el uso en sistemas de energía solar, te tal forma se aprovecha con la mayor eficiencia la energía solar generada.

Las aplicaciones del bombeo solar no están limitadas a instalaciones en zonas rurales, explotaciones agrícolas o ganaderas, donde no hay acceso a la red eléctrica. También, se implementan como una solución para la reducción del consumo de energía eléctrica en instalaciones domésticas y para la alimentación de bombas en sistemas de reserva de agua de pozo a tinaco. En estos casos, el sistema solar permite una alimentación de energía confiable y económica sin depender de la alimentación de la red eléctrica, con lo que se reducen los costos de consumo de electricidad y se aumenta la confiabilidad de la instalación.

Un sistema de bombeo solar fotovoltaico cuenta con un generador fotovoltaico que se utiliza para alimentar una motobomba que mueve o extrae agua para depositarla o simplemente para recircularla.

Estos sistemas tienen varias ventajas que los hacen soluciones válidas en diversas circunstancias. Por ejemplo, las curvas de generación y de consumo están bien adaptadas en el tiempo. Es decir, cuando hay mayores niveles de radiación es cuando hay mayores niveles de consumo de agua.

Otra de las ventajas es, que combinado con un sistema de almacenamiento en un depósito elevado, es posible prescindir de un sistema de acumulación químico, ya que estamos almacenando el agua como energía potencial.

Actualmente el bombeo de agua solar es una de las aplicaciones de la energía solar de mayor incremento en los últimos tiempos. En algunas ocasiones está disponible un sistema de alimentación de red eléctrica para los sistemas de riego,

agua potable y, en general, para el bombeo de agua. En estas situaciones, el bombeo solar es una solución ecológica, económica y perfectamente viable para aplicarse. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.3.1. **Componentes principales del sistema**

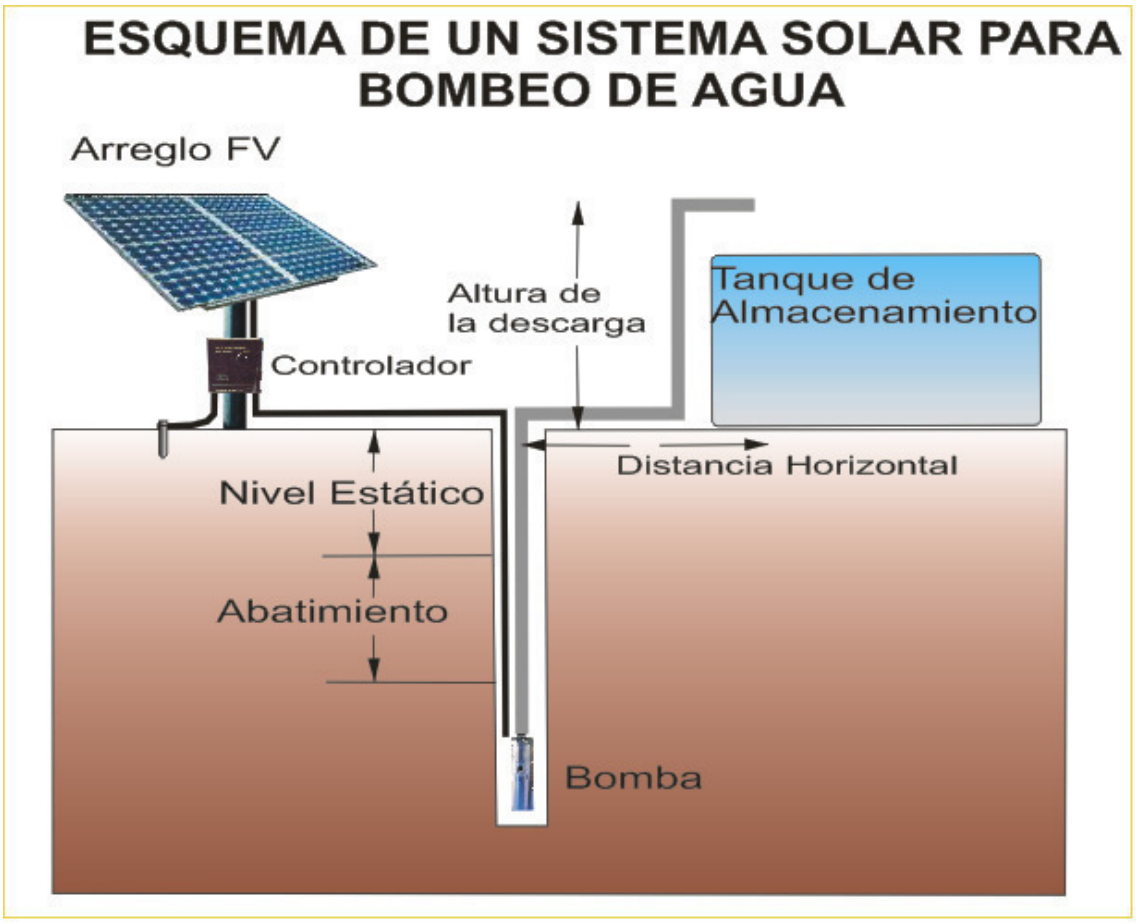


Ilustración 10. Esquema de un Sistema Solar para Bombeo de Agua

Fuente:http://www.energiasolar.mx/bombeo-solar/ventajas-diseno-sistemas-bombeo-solar-agua

1.3.1.1. Generador

Un generador fotovoltaico está formado por una cantidad de módulos solares fotovoltaicos que se conectan en arreglos de serie y paralelo, y cuya función es la de transformar la energía solar en energía eléctrica DC.

Los valores de salida del generador dependerán de la configuración de los arreglos. Así, los módulos que se conecten en serie aumentarán la tensión, mientras que los módulos que se instalen en paralelo aumentarán la corriente máxima del sistema.

Una característica importante a destacar es que estamos tratando con una fuente no gestionable, es decir, que la potencia eléctrica máxima que puede suministrar el sistema es variable y depende de la irradiación solar que incide sobre el plano de captación y de la temperatura de los módulos. (Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Enero 2012)

1.3.1.2. Motobomba

1.3.2. Características particulares de los motores eléctricos de corriente alterna

Corriente

Los motores eléctricos se presentan distintos tipos de corriente, que fundamentalmente son (Flores, 2006):

- Corriente nominal: En un motor, el valor de la corriente nominal es la cantidad de corriente que consumirá el motor en condiciones normales de operación.
- Corriente de vacío: Es la corriente que consumirá el motor cuando no se encuentre operando con carga y es aproximadamente del 20% al 30% de su corriente nominal.
- Corriente de arranque: Todos los motores eléctricos para operar

- consumen un excedente de corriente, mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente de dos a ocho veces superior.
- Corriente a rotor bloqueado: Es la corriente máxima que soportará el motor cuando su rotor esté totalmente detenido.

Factor de potencia

El factor de potencia nunca puede ser mayor que la unidad, regularmente oscila entre 0.8 y 0.85. En la práctica el factor de potencia se expresa, generalmente, en tanto por ciento, siendo el 100% el factor máximo de potencia posible. Un factor de potencia bajo es una característica desfavorable de cualquier carga (Flores, 2006).

Factor de servicio

El factor de servicio de un motor se obtiene considerando la aplicación del motor, para demandar le más, o menos potencia, y depende directamente del tipo de maquinaria impulsada (Flores, 2006).

Número de fases

Depende directamente del motor y del lugar de instalación (Flores, 2006).

Deslizamiento

El deslizamiento es la relación que existe entre la velocidad de los campos del estator y la velocidad de giro del rotor (Flores, 2006).

En los motores de corriente alterna de inducción, específicamente de jaula de ardilla, el deslizamiento es fundamental para su operación, ya que de él depende que opere o no el motor.

Eficiencia

Es un factor que indica el grado de pérdida de energía, trabajo o potencia de cualquier aparato eléctrico o mecánico (Flores, 2006). La eficiencia [η] de una máquina se define como la relación del trabajo de salida entre el trabajo de entrada, en términos de potencia, la eficiencia es igual a el cociente de la potencia de salida entre la potencia de entrada. Se expresa en porcentaje (%).

Placa de características

Cada motor debe contar con una placa de características, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor.

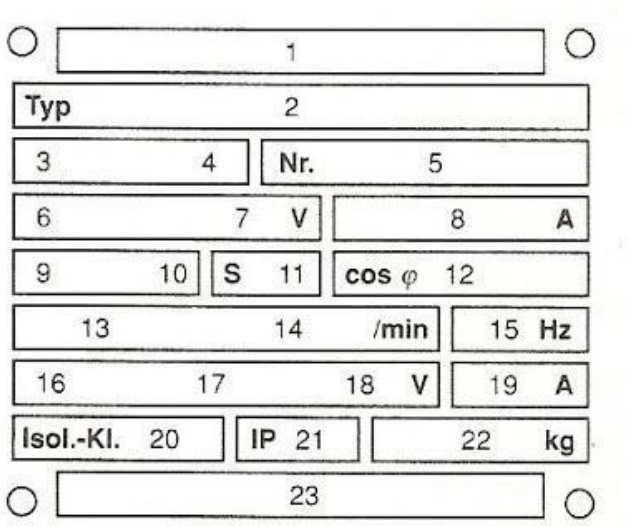


Ilustración 11. Placa Característica de un Motor Eléctrico.

Fuente: sites.google.com

1. Nombre del fabricante.
2. Tamaño, forma de construcción.
3. Clase de corriente.
4. Clase de máquina; motor, generador, etc.
5. Número de fabricación.

6. Identificación del tipo de conexión del arrollamiento.
7. Tensión nominal.
8. Intensidad nominal.
9. Potencia nominal. Indicación en kW para motores y generadores de corriente continua e inducción. Potencia aparente en kVA en generadores síncronos.
10. Unidad de potencia, por ejemplo kW.
11. Régimen de funcionamiento nominal.
12. Factor de potencia.
13. Sentido de giro.
14. Velocidad nominal en revoluciones por minuto revol/min.
15. Frecuencia nominal.
16. "Err" excitación en máquinas de corriente continua y máquinas síncronas. "Lfr" inducido para máquinas asíncronas.
17. forma de conexión del arrollamiento inducido.
18. Máquinas de cc y síncronas: tensión nominal de excitación. Motores de inducido de anillos rozantes: tensión de parada del inducido (régimen nominal).
19. Máquinas de cc y síncronas: corriente nominal de excitación. Motores de inducido de anillos rozantes: intensidad nominal del motor.
20. Clase de aislamiento.
21. Clase de protección.
22. Peso en Kg o T.
23. Número y año de edición de la disposición VDE tomada como base.

Fuente: (Matienzo, 2018)

Aplicaciones

Los motores son usados en una gran variedad de equipos entre los que más sobresalen (Almeida):

1. Bombas centrífugas, ventiladores y compresores en los que el par aumenta con la velocidad de rotación del motor al cuadrado.

2. Cintas transportadoras, escaleras mecánicas, elevadoras, grúas y otros tipos de equipos similares en los que el par es más o menos independiente de la velocidad.

1.3.3. **Bomba**

Las bombas son máquinas en las cuales se produce una transformación de la energía mecánica en energía hidráulica (velocidad y presión) comunicada al fluido que circula por ellas (Impulsión de Aguas Residuales: Bombas para la Impulsión de Aguas Residuales, 2003).

Todas las bombas producen un flujo o corriente de líquidos. Entregan un caudal y desplazan el líquido de un punto a otro. La presión en el sistema se origina por la restricción que se impone a ese caudal (Presión = fuerza/superficie).

La bomba hidráulica convierte energía mecánica en energía hidráulica

1.3.4. **Sistema hidráulico**

1. **Motor eléctrico con un sentido de giro:** Unidad de accionamiento de bombas hidráulicas
2. **Bomba hidráulica:** Bomba de caudal constante. El caudal depende de las revoluciones del motor y del volumen desplazado en cada giro.
3. **Manómetro:** Indica la presión con un determinado margen de tolerancia.
4. **Válvula limitadora de presión:** Válvula limitadora de presión regulable, la válvula empieza a abrir el paso a partir de una determinada presión que se ajustó previamente. (Didactic, 2011)

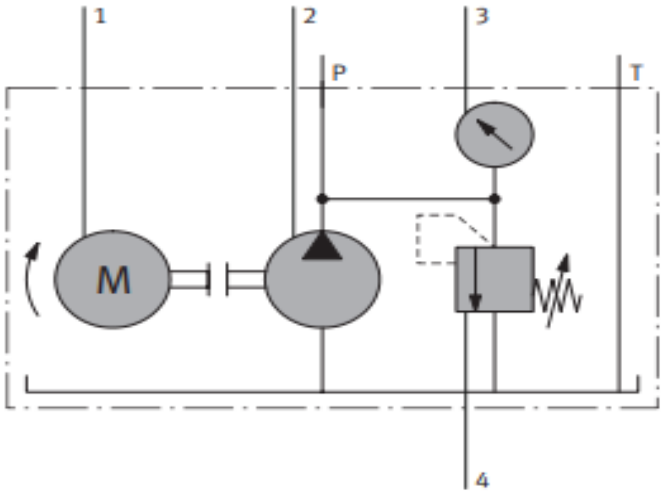


Ilustración 12.Diagrama de un Sistema Hidráulico

Fuente: festo-didactic.com

1.3.5. **Tipos de bombas**

Las bombas más frecuentemente usadas en el abastecimiento de agua son las bombas centrifugas, horizontales y verticales, y las bombas sumergibles. (UNATSABAR, 2005)

Bombas centrifugas horizontales

Son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma horizontal. Tienen la ventaja de poder ser instaladas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento, lo cual permite ubicarlas en lugares secos, protegidos de inundaciones, ventilados, de fácil acceso, etc. (UNATSABAR, 2005)

Este tipo de bomba se debe emplear en cisternas, fuentes superficiales y embalses. Por su facilidad de operación y mantenimiento es apropiado para el medio rural. Su bajo costo de operación y mantenimiento es una ventaja adicional.

Se pueden clasificar, de acuerdo a la posición del eje de la bomba con respecto al nivel del agua en la cisterna de bombeo, en bombas de succión positiva y bombas de succión negativa.

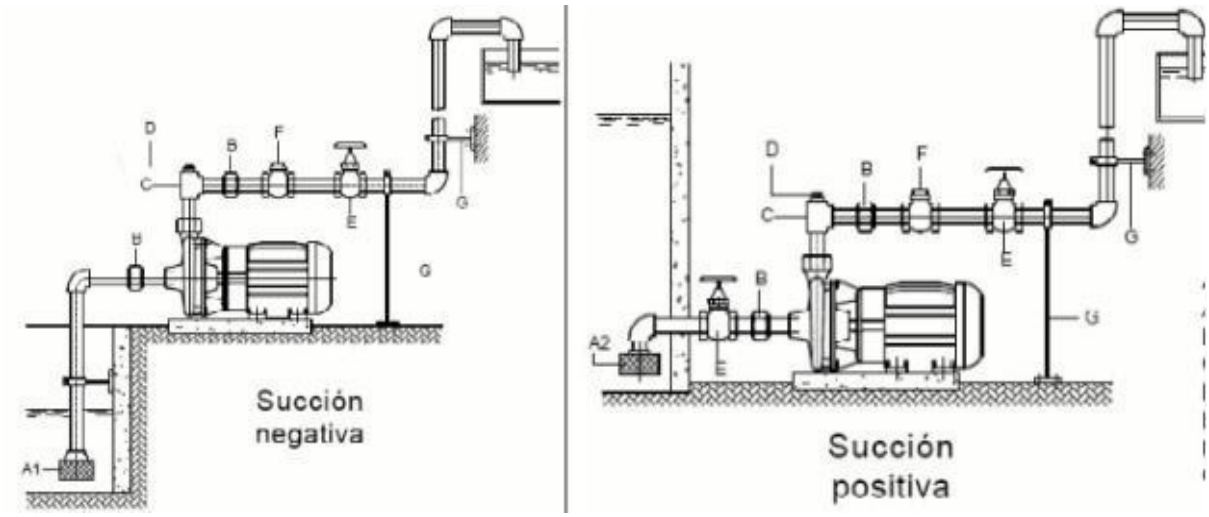


Ilustración 13. Clasificación de la Bomba según Eje

Fuente:bvsde.paho.org

- A1: Válvula de pie con canastilla
- A2: Canastilla
- B: Unión universal
- C: Tee
- D: Tapón de cebado
- E: Válvula de compuerta
- F: Válvula check
- G: Soporte de tubería

De acuerdo a las variantes constructivas, estos equipos se pueden clasificar en los siguientes (UNATSABAR, 2005):

Bombas Monobloc

Son equipos sencillos que forman un conjunto compacto son su electromotor. Tienen una caja compacta integral, en los tamaños pequeños, y/o partida verticalmente en los de gran tamaño.

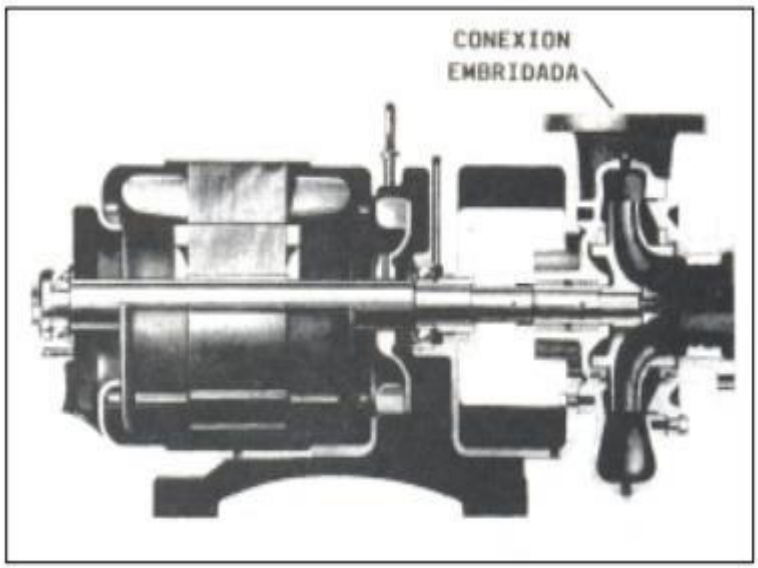


Ilustración 14.Corte longitudinal de una bomba Monobloc para alta presión.

Fuente:bvsde.paho.org

La succión es axial y la descarga tangencial. Los modelos pequeños tienen conexión de succión y descarga roscada y los modelos más grandes, a bridas. Tienen dos impulsores cerrados que pueden trabajar en serie o en paralelo. Este tipo de bombas es adecuado para pequeñas instalaciones, cuya potencia no sea mayor a 10 HP. (UNATSABAR, 2005)

Bombas de silla

Son equipos algo más complicados porque tienen cuatro partes distintas:

a) La carcasa de la bomba, sujeta en voladizo a un soporte especial o silla, que a su vez sirve de soporte al eje de la bomba.

b) Un motor eléctrico.

c) Una base metálica común.

d) Un acoplamiento elástico para los ejes.

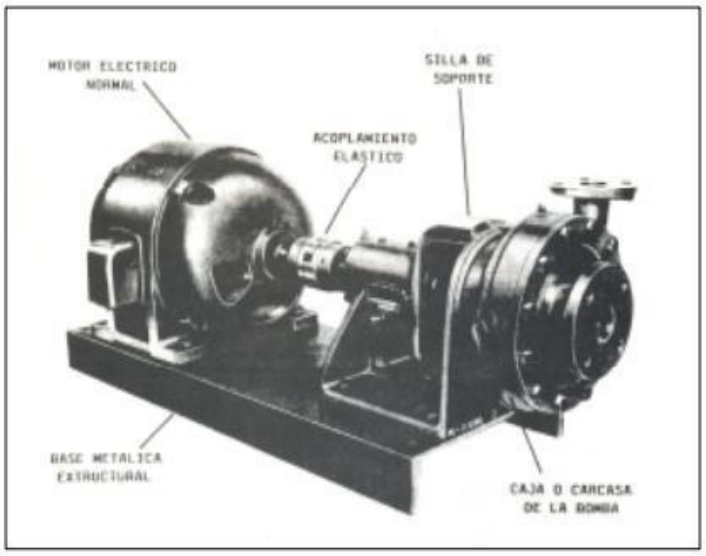


Ilustración 15.Vista exterior de una bomba de silla montada en fábrica sobre base estructural.

Fuente:bvsde.paho.org

Estas bombas también tienen dos impulsores, que pueden ser iguales o diferentes y trabajar en serie o en paralelo.

Bombas de caja partida horizontal

En estos equipos la caja de la bomba está dividida en dos partes según un plano horizontal que pasa por el eje de la misma. Generalmente son construidas de tamaño grande. Pueden tener dos o más impulsores, pero por lo general tienen solo uno de gran tamaño y de doble entrada, lo que obliga a bifurcar tanto la conexión de la succión como la descarga. Este tipo de bombas es adecuado para emplearlas en medias y grandes casetas de bombeo. (UNATSABAR, 2005)

Figura 7. Bomba con caja partida horizontal destapada

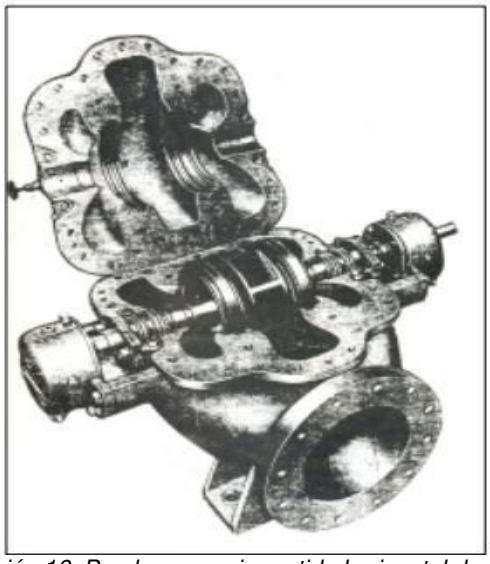


Ilustración 16. Bomba con caja partida horizontal destapada

Fuente:bvsde.paho.org

Bombas centrifugas verticales

Son equipos que tienen el eje transmisión de la bomba en forma vertical sobre el cual se apoya un determinado número de impulsores que elevan el agua por etapas. Deben ubicarse directamente sobre el punto de captación, por lo cual casi se limita su uso a pozos profundos.

Estas bombas se construyen de diámetros pequeños, a fin de poder introducirlas en las perforaciones de los pozos, los cuales exigen diámetros pequeños por razones de costo.

Estas bombas se construyen de diámetros pequeños, a fin de poder introducirlas en las perforaciones de los pozos, los cuales exigen diámetros pequeños por razones de costo. (UNATSABAR, 2005)

De acuerdo al tipo de lubricación del eje de transmisión de la bomba, pueden ser de dos tipos:

1. Lubricadas con el mismo líquido que se bombea
2. Lubricadas con aceite.

Una unidad de bombeo de un pozo consta seis partes principales, que son:

a) la máquina motriz,
b) el cabezal de transmisión
c) eje de transmisión,
d) la columna o tubería de impulsión
e) la bomba
f) la tubería de succión.

Los motores eléctricos para montaje vertical y, sobretodo, los especiales llamados de eje hueco, son más utilizados para accionar este tipo de bombas.

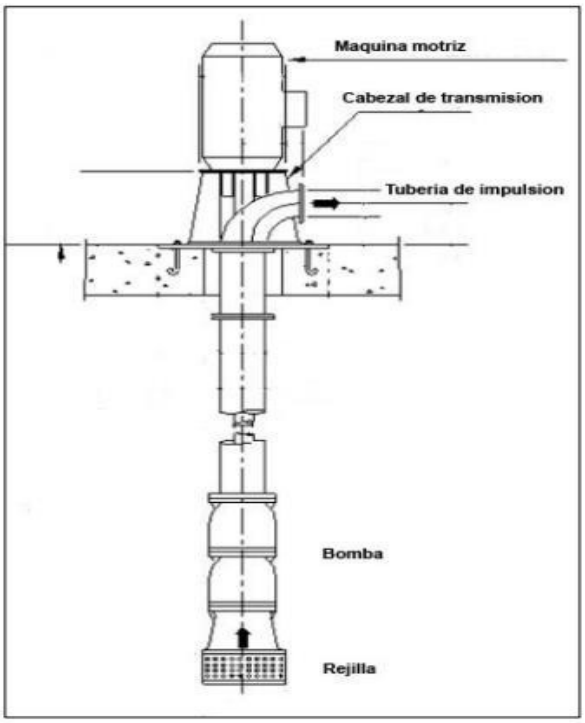


Ilustración 17. Bombas centrifugas de eje vertical.

Fuente:bvsde.paho.org

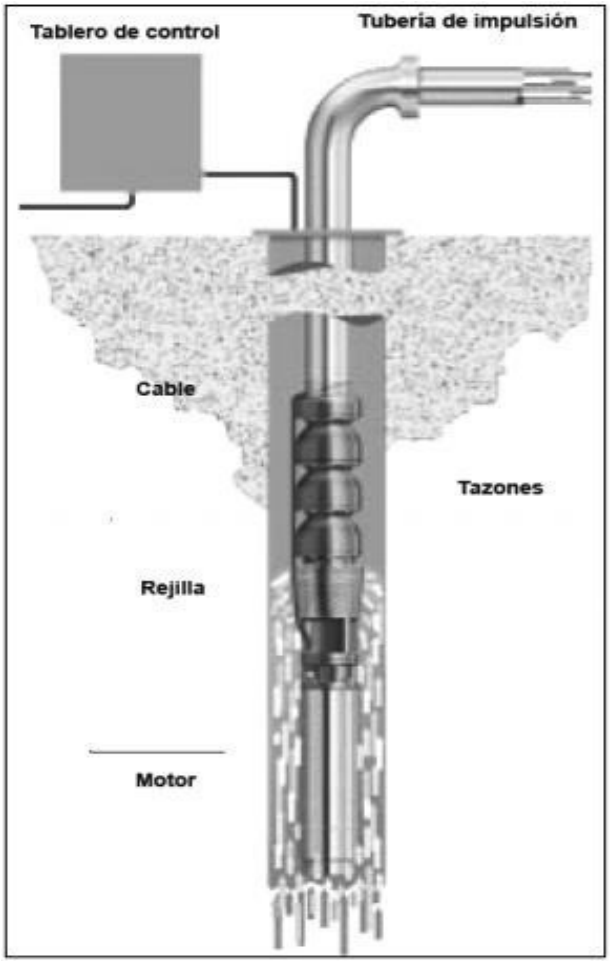


Ilustración 18. Bombas sumergibles.

Fuente:bvsde.paho.org

Bombas sumergibles

Son equipos que tienen la bomba y motor acoplados en forma compacta, de modo que ambos funcionan sumergidos en el punto de captación; se emplean casi exclusivamente en pozos muy profundos, donde tienen ventajas frente al uso de bombas de eje vertical. (UNATSABAR, 2005)

Estas bombas tienen la desventaja de poseer eficiencia relativamente bajas, por lo cual, aun cuando su costo puede ser relativamente bajo, el costo de operación es elevado por su alto consumo de energía.

Los motores sumergibles están concebidos con velocidades de operación altas y son máquinas muy rígidas con respecto a la misma, no es factible hacer regulaciones durante la operación para variar la velocidad. (UNATSABAR, 2005)

1.3.5.1. Acoplamiento generador-motobomba

Es a veces necesario en una instalación variar el caudal de una bomba para adaptarlo a las exigencias de un servicio. Esta regulación de caudal puede realizarse de varias formas. (IDEAL, 2012)

1. Regulación a velocidad variable.
2. Regulación a velocidad constante.

1.3.6. **Regulación a velocidad variable.**

La regulación de caudal a velocidad variable es la más económica. Con ella adaptamos una bomba centrífuga a unos datos de servicio determinados.

Con un variador de velocidad se pasa a suministrar el caudal Q2 reduciendo la velocidad de la bomba, situándose en el punto de trabajo (2'), manteniendo la presión constante y reduciendo la potencia consumida. (IDEAL, 2012)

Variación de velocidad.

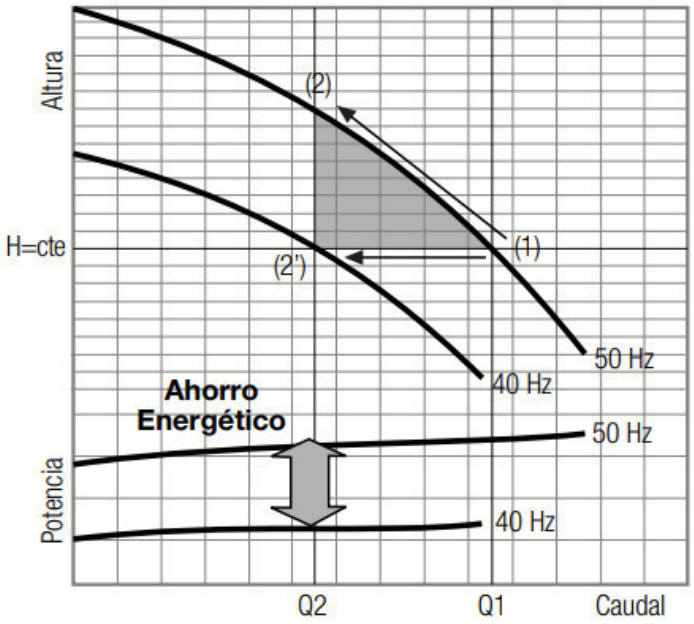


Ilustración 19. Curva de variación de velocidad en una bomba

Fuente: LIBRO-HIDRAULICA-D-1607121_IDEAL

El motor eléctrico alimentado a frecuencia de red gira a su velocidad nominal. Como la relación entre la potencia consumida y la velocidad es cúbica, esto implica un consumo importante.

Ajustando la velocidad mediante un variador de frecuencia, la velocidad se adapta a la demanda, siendo la velocidad promedio menor que la nominal, lo cual se traduce en un ahorro energético muy importante. (IDEAL, 2012)

Curva de potencia con variación de velocidad

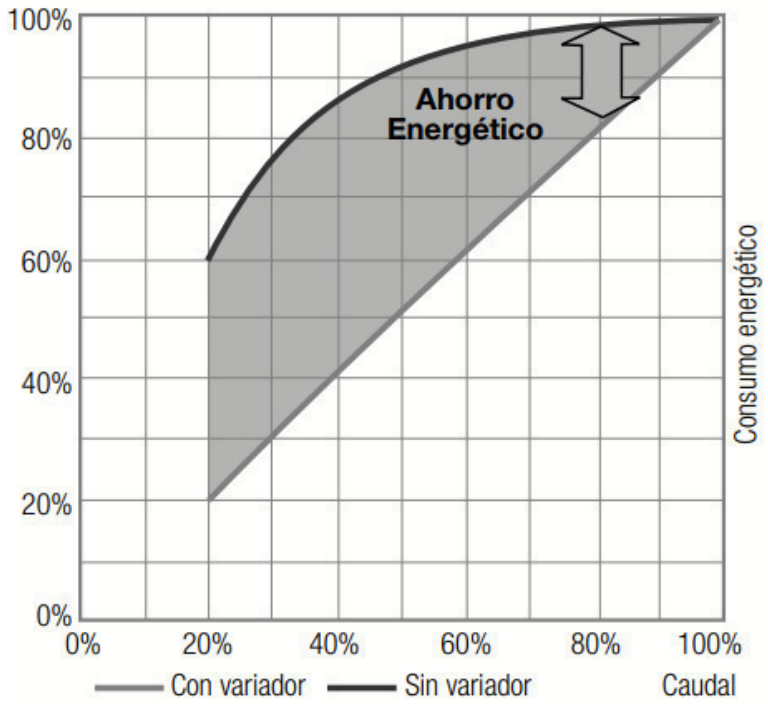


Ilustración 20. Curva de Potencia con Variación de Velocidad

Fuente: LIBRO-HIDRAULICA-D-1607121_IDEAL

1.3.7. **Variador de frecuencia**

Un variador de frecuencia o variador de velocidad es un dispositivo de electrónica de potencia que puede controlar la velocidad síncrona, el par mecánico o torque y

la dirección de rotación de un motor de inducción tipo rotor jaula de ardilla de C. A., empleando un arranque “suave” y paro “suave”. (NAVA., 2008)

Los Variadores de Frecuencia (VDF), también llamados Convertidores de Frecuencia o Inversores (Inverters) han venido a resolver el problema de poder usar los motores a velocidades variables sin disminuir mayormente su eficiencia. (Cobo)

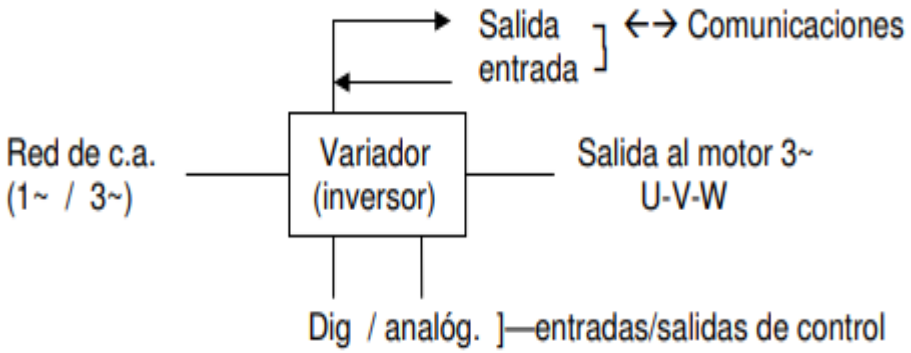


Ilustración 21. Diagrama Variador de Frecuencia

Fuente: repositorio.utp.edu.co

Red de suministro: acometida de c.a., monofásica en aparatos para motores pequeños de hasta 1,5 kW (2 C.V. aprox.), y trifásica, para motores de más potencia, hasta valores de 630 kW o más.

Entradas y salidas (E/S o I/O): diferentes conexiones de entradas y salidas de control; pueden ser digitales tipo todo o nada (contactos, pulsadores, conmutadores, contactos de relé…) o analógicas mediante valores de tensión (0…10 V o similares) e intensidad (4…20 mA o similares). Además puede incluir terminales de alarma, avería, etc.

Comunicaciones: estos dispositivos pueden integrarse en redes industriales, por lo que disponen de un puerto de comunicaciones, por ejemplo RS-232, RS-485, red LAN, buses industriales (ProfiBus…) o conexiones tipo RJ-45 o USB para

terminales externos y ordenadores. Cada fabricante facilita el software de control, directo o mediante bus de comunicaciones. Que permitirá el control, programación y monitorización del variador (o variadores) en el conjunto de aparatos de control empleados. (Cobo)

Salida: conexión al motor, generalmente de tres hilos (U-V-W) para conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

Diagrama en bloques

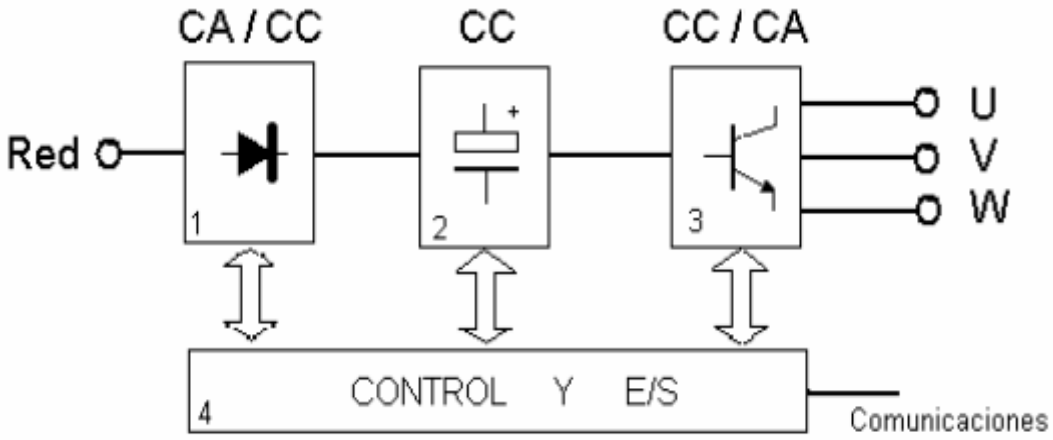


Ilustración 22. Diagrama en bloques

Fuente: repositorio.utp.edu.co

1.- Rectificador: partiendo de la red de suministro de c.a., monofásica o trifásica, se obtiene

c.c. mediante diodos rectificadores.

2.- Bus de continua: condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran la c.c. rectificada, para obtener un valor de tensión continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.

3.- Etapa de salida: desde la tensión del bus de continua, un ondulador convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y

frecuencia de salida variables. Como elementos de conmutación, se usan principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores (SCR), GTO… etc. Las señales de salida, se obtiene por diversos procedimientos como troceado, mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación senoidal mediante modulación por anchura de impulsos PWM.

4.- Control y E/S: circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación… y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Además se incluye el interfaz de comunicaciones con buses u otros dispositivos de control y usuario. (Cobo)

Principio de Funcionamiento

En definitiva, estos dispositivos entregan voltaje y frecuencia variable conforme a la necesidad del motor y la carga a él conectada. Para tal efecto, toma la alimentación eléctrica de la red, cual tiene voltaje y frecuencia fija, la transforma en un voltaje continuo (Rectificador más Filtro) y luego lo transforma en voltaje alterno trifásico de magnitud y frecuencia variable por medio de un Inversor. Contando sólo con esta última etapa (Inversor) es posible también alimentar estos motores a partir de un suministro de corriente continua (por ejemplo baterías).También se puede contar con un rectificador monofásico de modo de poder alimentar un motor trifásico a partir de una fuente de alimentación monofásica.

La forma de onda del voltaje de salida en estricto rigor no es una sinusoide perfecta, toda vez que entregan una señal de pulso modulada a partir de una frecuencia de conmutación alta. En todo caso con los equipos actuales, donde podemos encontrar frecuencias de conmutación del orden de los 50 KHz, los contenidos de armónica son bastante bajos, por lo que agregando filtros pasivos cumplen las exigencias normativas impuestas por muchos países.

La relación frecuencia voltaje es configurada por el usuario según la aplicación, siendo las más usuales una relación lineal, cual produce un torque constante en todo el rango de velocidad, o una relación cuadrática, la que el torque disminuye a medida que baja la velocidad. En definitiva, conforme a la consigna de frecuencia

que se le otorgue al equipo, la cual puede ser un comando en el mismo equipo o una señal externa, se entregará al motor un voltaje de magnitud según la relación V/F configurada y de frecuencia conforme a la consigna. Esto hará que el motor gire a una velocidad proporcional a la frecuencia. (Cobo)

Aplicaciones Típicas De Variadores De Frecuencia

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

- **Fajas o cadenas transportadoras**. Para poder controlar y sincronizar la velocidad de producción de la planta de acuerdo al tamaño de producto.
- **Bombas Centrífugas.** Para realizar un control de caudal determinado o para empleo en sistemas de presión constante y volumen variable. Es la aplicación ideal para un variador de frecuencia, porque representa enormes ahorros en consumo de electricidad. Típicamente reemplazan a sistemas con tanque hidroneumático, tanque elevado, intercambio de calor, etc.
- **Ventiladores Centrífugos**. Al igual que en el caso de bombas centrífugas, su empleo representa grandes ahorros de consumo de electricidad. Se emplean por ejemplo en ventiladores de calderas y hornos, control de presurización de salas de proceso, extractores de aire, torres de enfriamiento, etc.
- **Bombas de desplazamiento positivo**. Permiten un control exacto de caudal y dosificación por medio del control de la velocidad. Eje: bombas de tornillo, de engranajes, bombas de lóbulos para transporte de chocolate, pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, etc.
- **Ascensores y elevadores**. Permiten un arranque y parada suave del elevador manteniendo el torque del motor, evitando así que la carga se mueva y se golpee.
- **Extrusoras y prensas de tornillo.** Reemplazan a los sistemas hidráulicos tradicionales proporcionando una variación amplia de velocidad y control total

de torque. Eje: prensas de harina de pescado, extrusoras de snaks, pasta, plásticos, etc.

- **Separadores Centrífugos.** Realizan un arranque suave y progresivo de la centrífuga evitando los picos de corriente.
- **Otras aplicaciones importantes** se dan en las laminadoras, prensas mecánicas, compresores de aire, máquinas textiles, máquinas herramienta, pozos de petróleo, etc. (Núñez, 2005)

1.3.8. **Regulación a velocidad constante.**

En cuanto a la regulación a velocidad constante, consiste en estrangular de la tubería de impulsión para regular el caudal deseado.

En este procedimiento disminuye notablemente el rendimiento, pero es un método muy simple y por ello fácil de adoptar. (Núñez, 2005)

1.3.9. **Accionamiento de bombas centrífugas**

El medio más general de accionamiento es mediante empleo de motores eléctricos, turbinas de vapor o motores de combustión interna.

El accionamiento con motores eléctricos es el más difundido, por su economía y gran velocidad de servicio.

En cuanto a las modalidades de arranque directo, en estrella/triángulo y con arrancador suave, a continuación ilustramos, un comportamiento típico de la corriente de arranque y del par requerido por el motor. (IDEAL, 2012)

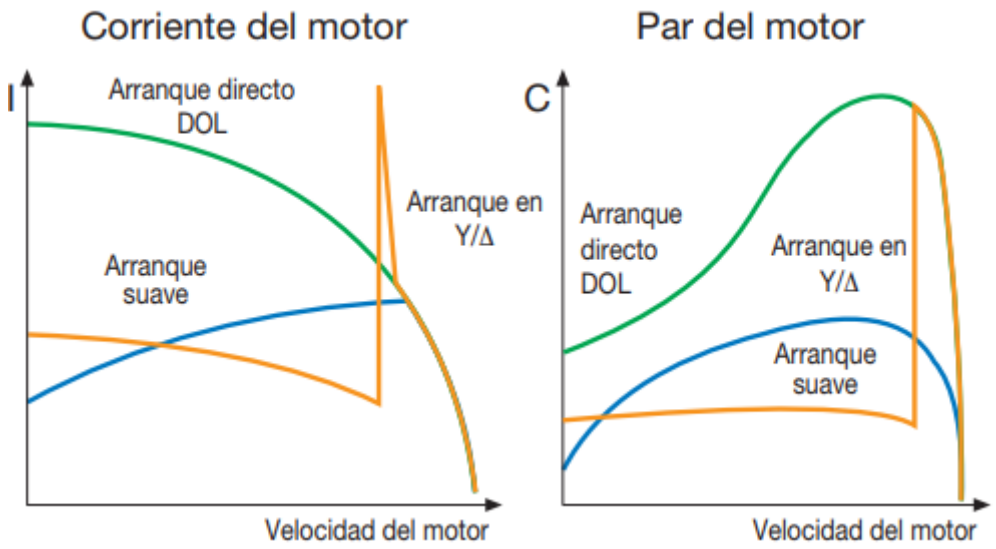


Ilustración 23. Grafica del Comportamiento de la Corriente de Arranque y de Par del Motor.

Fuente: library.e.abb.com

1.3.9.1. Protecciones hidráulicas

Durante el funcionamiento de cualquier sistema de bombeo hay dos situaciones que se deben evitar: el vaciado de la fuente de agua y el desbordamiento del depósito.

En el caso de que la velocidad de extracción del agua supere a la velocidad de reposición de agua en la fuente, los giros de la bomba se realizarán en vacío con una mezcla de agua y aire. Este fenómeno, llamado cavitación, puede dañar la bomba por fricción, vibración excesiva y sobre-temperatura (cabe recordar que el agua ejerce a su vez como lubricante y refrigerante de la bomba). La solución para evitar que esta situación suceda es la instalación de un sistema de control que ordene el paro del sistema. En el caso de sistemas con variadores de frecuencia este control se realiza cuando la bomba trabaja en vacío. Al trabajar en vacío, la potencia mecánica necesaria baja y con ello la corriente. En ese punto, el variador intentará recuperar la tensión de referencia, incrementando de manera proporcional la frecuencia. Es por eso, que se configura una frecuencia límite que estará por encima de la nominal (en el caso de 60Hz, puede ser 65Hz).

Por otro lado, el desbordamiento de los depósitos de puede controlar mediante el uso de una boya que, llegado a un punto, envíe una señal que suspenda el sistema de bombeo. Otra alternativa, sería redirigir el agua de bombeo a otro depósito en vez de apagar la bomba.

1.3.9.2. Circuito hidráulico

Este circuito lo compone el conjunto de accesorios que van desde la salida del pozo o de la bomba hasta el punto de suministro, y que completan el sistema de bombeo. Este se compone de elementos tales como depósitos, válvulas de paso, tuberías de impulsión, tuberías de distribución, depósitos y filtros.

La tubería de impulsión es la que se instala a la salida de la bomba. Esta normalmente está fabricada con un polímero de alta densidad (polietileno principalmente) y de calidad alimentaria. Otra alternativa son las tuberías flexibles, las cuales aumentan el costo del sistema y su complejidad durante la instalación. (toledopiscinas)

1. En primer lugar la bomba toma el agua de la piscina, por uno o varios de los siguientes lugares:
    - Skimmers #4
    - Toma de Fondo #17
    - Toma de barredera #18 (no siempre existe)
2. El agua pasa por el pre filtro de la bomba #2 y esta la impulsa al filtro #1
3. A la entrada del filtro se encuentra la válvula selectora #3
4. Dependiendo de la posición de la válvula selectora sucederá :
    - Filtrado
    - Lavado
    - Enjuague
    - Recirculación
    - Vaciado
    - Cerrado

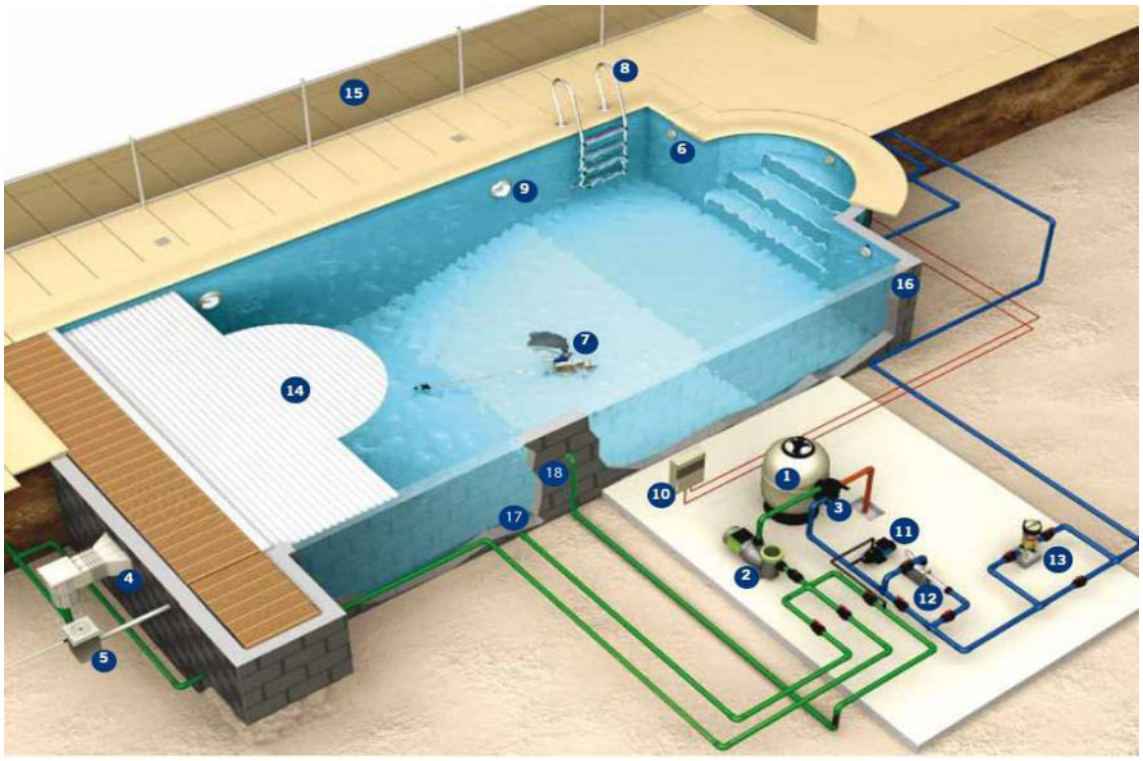


Ilustración 24. Funcionamiento del Sistema de Bombeo

Fuente: toledopiscinas.es/

1.3.10. **Aspectos de la hidráulica**

- Los líquidos no tienen forma propia.
- Son prácticamente incompresibles.
- Transmiten en todas las direcciones. la presión que se aplica sobre ellos.
- Permiten multiplicar la fuerza aplicada.

Algunos de los factores a tener en cuenta son:

Compresibilidad: La compresibilidad de un fluido nos expresa la mayor o menor facilidad con que disminuye su volumen al aumentar la presión a la que se encuentra sometida. Generalmente en las aplicaciones de ingeniería se puede

considerar que los líquidos y particularmente el agua, son incomprensibles, salvo en el estudio del golpe de ariete. (López, 1997)

Presión: Se define como presión la fuerza normal que actúa por unidad de superficie.

Dentro de las escalas podemos diferenciar entre:

- **Presión absoluta:** es la presión medida teniendo como origen el vacío absoluto
- **Presión diferencial:** es la diferencia de presiones existentes entre dos puntos.
- **Presión relativa** o manométrica: es la diferencia de presión existente entre el punto que se mide y la presión atmosférica en esa zona y en ese momento.
- **La presión atmosférica** o presión barométrica: es el peso por unidad de superficie de la columna de aire que hay en ese momento sobre ese punto, y su valor varía con la altitud y con las condiciones meteorológicas (humedad, temperatura, etc.).
- **La presión absoluta:** es la suma de la presión relativa y de la atmosférica. (López, 1997)

Viscosidad: La viscosidad es la propiedad de los líquidos que mide la resistencia que los mismos ofrecen ante tensiones tangenciales que tienden a deformarlos.

Cavitación: La cavitación es un fenómeno termodinámico según el cual el agua cambia de estado al reducirse la presión por debajo de la presión de saturación para la temperatura a la que se encuentra el líquido: la tensión de vapor del líquido. Este fenómeno es inherente al líquido y puede aparecer en bombas, válvulas, codos, etc., y en general en cualquier punto o situación en la que se supere la condición límite anteriormente expresada. La cavitación es uno de los problemas más graves que afectan a las bombas. (López, 1997)

1.3.11. **Hidrostática**

La Hidrostática es la parte de la Hidráulica que estudia los líquidos en reposo. El cálculo de los empujes hidrostáticos ejercidos por los líquidos en reposo, es imprescindible al ingeniero para poder proyectar las estructuras hidráulicas que los contengan. (López, 1997) (Física de Fluidos, 2007)

Los principios de la hidrostática son los siguientes:

1. Toda presión ejercida en un líquido se transmite íntegra en todos los sentidos (Principio de Pascal).
2. Las presiones de los líquidos contra los recipientes que los contienen, son normales a sus paredes; éstas presentan una. reacción igual y de sentido contrario, cuya neutralización produce el equilibrio.
3. Todas las moléculas de un plano o capa horizontal de líquido en reposo, soportan idéntica presión, proporcional a su profundidad.
4. A igualdad de profundidad, estas son presiones proporcionales al peso específico del fluido.
5. La superficie libre de un fluido en equilibrio estático es horizontal.
6. Para que se produzca equilibrio estático, todo el fluido debe estar a la misma temperatura (Foguet, 2005)a.

1.3.12. **El principio de Pascal**

El principio de Pascal se enuncia del modo siguiente: Cualquier presión ejercida sobre un líquido encerrado y en reposo se transmite con la misma intensidad a todos los puntos del fluido y en todas direcciones. Es decir, el principio de Pascal permite transmitir presiones en el interior de los líquidos (Física de Fluidos 61).

1.3.13. **Hidrodinámica**

La hidrodinámica estudia los fluidos en movimiento teniendo en cuenta las causas que lo producen, es decir, las fuerzas actuantes.

Las fuerzas que pueden actuar sobre un fluido son:

1. La fuerza de la gravedad.
2. La fuerza causada por la diferencia de presiones.
3. La fuerza de viscosidad.
4. La fuerza de elasticidad. Es nula en los fluidos incompresibles.
5. La tensión superficial. (Foguet, 2005)

1.3.14. **Trinomio de Bernoulli**

Al aplicar las leyes de conversión de masa y energía a los fluidos, Daniel Bernoulli (1700-1782) formuló la ecuación para el flujo de fluidos que describe la relación entre presión, velocidad y elevación de cualquier punto en un fluido.

Si entre dos puntos cualesquiera conectados hidráulicamente, por ejemplo con una tubería, existe una diferencia de energías, esa diferencia corresponde a las pérdidas producidas en ese tramo de tubería.

1.3.15. **Pérdidas longitudinales**

Son aquellas pérdidas energéticas producidas en una tubería por el rozamiento de la masa de agua con las paredes de la tubería.

Para expresar las pérdidas longitudinales existen multitud de formulaciones; todas ellas tienen en cuenta los siguientes conceptos:

- A mayor caudal circulante por la tubería, mayores son las pérdidas.
- A mayor rugosidad en la tubería (debido a los distintos materiales con los que se pueden construir), mayores son las pérdidas.
- A menor diámetro de la tubería, mayores son las pérdidas.

Puede verse cómo todos ellos son evidentes si se piensa que las pérdidas longitudinales son debidas al rozamiento. (Foguet, 2005)

1.3.16. **Pérdidas puntuales**

Son aquellas pérdidas energéticas producidas en una tubería por cambios bruscos en el flujo (válvulas, codos, entradas a depósitos, etc.).

Las pérdidas localizadas se expresan mediante un coeficiente que multiplica la aportación de la velocidad en el trinomio de Bernoulli. (Foguet, 2005)

1.3.17. **Configuraciones típicas en sistemas de bombeo solar**

Los sistemas fotovoltaicos de bombeo, se clasifican dependiendo del tipo de motor (AC o DC) y del tipo de bomba (centrífuga o de desplazamiento positivo).

Se pueden dividir 3 tipos principales de sistemas:

1. Sistemas de baja potencia (desde 50Wp hasta 400Wp). Utilizan en su mayoría un motor DC que acciona una bomba de membrana y que es alimentado por un convertidor DC-DC.
2. Sistemas de media potencia (desde 400Wp hasta 1500Wp). Se pueden encontrar en dos variantes:
    a. Motobomba con bomba sumergible centrífuga multi-etapa y motor asíncrono alimentado por un variador de frecuencia.
    b. Motobomba con bomba helicoidal y con motor DC sin escobillas, accionado por un control DC.
3. Sistemas de alta potencia (a partir de 1.5kWp). Se componen por una bomba sumergible, centrífuga multi-etapa y motor asíncrono alimentado por un variador de frecuencia.

1.4. Beneficios de la Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar consta de un gran número de beneficios que la colocan entre las más prometedoras, las facilidades que ofrece esta tecnología, la convierten en idónea para su uso en puntos aislados a la red eléctrica, las zonas rurales o de

difícil acceso**,** La energía solar también es de buena utilidad para generar electricidad a gran escala e inyectarla en la red eléctrica, en especial en aquellas zonas geográficas cuya meteorología brinde abundantes horas de sol al año.

Tanto la energía solar, como la eólica son intermitentes, esto es, directamente dependiente de la meteorología o de los ciclos día-noche, el rápido avance experimentado por las tecnologías de almacenamiento eléctrico va a minimizar cada vez más esta circunstancia e incrementar la participación de este tipo de energías en el sistema energético.

Entre los beneficios podemos mencionar:

- Renovable
- Inagotable
- No contaminante
- Evita el calentamiento global
- Reduce el uso de combustibles fósiles
- Reduce las importaciones energéticas
- Genera riqueza y empleo local
- Contribuye al desarrollo sostenible
- Es modular y muy versátil, adaptable a diferentes situaciones
- Permite aplicaciones para generación eléctrica a gran escala y también para pequeños núcleos aislados de la red

En cuanto a las ventajas de un sistema fotovoltaico de bombeo, destacan las siguientes:

- Mantenimiento casi nulo
- No requieren combustible por lo cual contribuyen al cuidado del medio ambiente
- Las instalaciones son muy rentables
- Instalación rápida y sencilla
- De alta confiabilidad

- En instalaciones domésticas, contrarresta los costos elevados de las tarifas de energía eléctrica
- Funcionamiento automatizado
- Puede ser utilizado en riego, ganadería, uso doméstico, para recirculación de agua y cualquier otra aplicación donde requiera bombeo de agua.
- Larga vida útil sin costos mayores.

El sol proporciona energía de dos formas diferentes:

- **Proporciona calor**, el mismo es aprovechado mediante espejos de tal forma que los rayos del sol se concentran en un receptor que alcanza temperaturas de hasta 1.000 ºC. El calor se utiliza para calentar un fluido que genera vapor. El vapor finalmente mueve una turbina y produce electricidad.
- **Proporciona luz** que se convierte en electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos están formados por grupos de células o celdas solares que transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).

1.5. Antecedentes

La república dominicana, con la ley No. 57-07 la cual fue promulgada por el poder ejecutivo y posterior a esto, con la implementación del Reglamento de Medición Neta, algunas instituciones del estado se han visto obligadas a la aplicación de los incentivos para impulsar la producción de energía eléctrica en base a fuentes renovables en la república dominicana, entre estas instituciones figura: La Comisión Nacional de Energía (CNE).

Dicha institución, inició sus labores bajo el programa de medición neta en fecha 17 de febrero del año 2012, con capacidad instalada de 18 kWp. Y así motivando a las demás instituciones del estado dominicano a iniciar el programa con fines a promover el uso de energías renovables.

1.5.1. **Ley de Incentivos a las Energías Renovables y Regímenes Especiales**

Esta ley se promulgo el día 07 del mes de mayo del 2007, con el fin de incentivar el uso e implementación de energías renovables en la república dominicana, también con la Dirección General de Impuestos Internos (DGII) se ejecutará todo tipo de exención de impuestos contemplados en la Ley, esta tiene como objetivos principales:

1) La reducción de la dependencia de los combustibles fósiles importados.

2) El aumento de la diversidad energética en el país, en cuanto a la capacidad de autoabastecimiento de los insumos estratégicos que significan los combustibles y la energía no convencionales, siempre que resulten más viables.

3) También debe de estimular todos los proyectos de inversión privada, desarrollados a partir de fuentes renovables de energía

4) Motivar la participación de los inversionistas privados en la generación de energía servida al SENI esté supeditada a las regulaciones de los organismos competentes y de conformidad al interés público

5) Mitigar los impactos ambientales negativos de las operaciones energéticas con combustibles fósiles

6) Propiciar la inversión social comunitaria en proyectos de energías renovables

7) Colaborar con la descentralización de la generación de energía y biocombustibles, para aumentar la competencia del mercado entre las diferentes ofertas de energía

8) Motivar al logro de las metas planteadas en el Plan Energético Nacional específicamente en lo relacionado con las fuentes de energías renovables, incluyendo los biocombustibles. (acciona.com, 2011)

1.5.2. **Programa de Medición Neta en la República Dominicana**

Medición Neta: Proceso de medir de forma simultánea, la energía consumida por el cliente de las redes del distribuidor e inyectar los excedentes de energía a la red nacional eléctrica, los cuales serán acreditados por el distribuidor al cual está conectado el cliente.

1.5.3. **Propósito del programa de Medición Neta.**

Programa de medición neta: El Programa de Medición Neta es un servicio proporcionado por la distribuidora a los clientes que contienen su propio sistemas de generación que funciona bajo fuentes renovables de energía, el cual se interconecta a las redes de distribución, de acuerdo a lo planteado en el artículo 20 de la Ley 57-07 sobre Incentivo al Desarrollo Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales, este programa ha sido de gran impacto en la república dominicana, ya que el mismo permite a los usuarios vender el excedente de su generación, lo cual junto a los incentivos fiscales establecidos por la Ley No.57-07, garantiza que en un periodo de aproximadamente 5 años la inversión realizada en el proyecto es recuperable. (CNE, 2017)

1.5.3.1. Estadísticas del programa de Medición Neta.

El Programa de Medición Neta, el cual fue iniciado en julio del 2011, ha presentado un gran crecimiento con el pasar de los años. Desde su implementación hasta el mes de agosto del 2017, presentaba un total de dos mil cientos veintiséis clientes los cuales representan una capacidad instalada en potencia de cincuenta mil doscientos ochenta y uno kilowatts (50,281 kW), los cuales se distribuyen de la siguiente manera (Comisión Nacional de Energia, 2011):

Programa Medición Neta

Cantidad Usuarios y Capacidad Instalada (kW) Agosto 2017

Empresa Suministradora Servicio	Cantidad Clientes	Capacidad Instalada kW
Cap. Cana Caribe	2	33
CEB	7	98
CEPM	72	1,579
Corp. Punta Cana	16	505
Costasur Dominicana	1	8
EDEESTE, S.A.	219	5,372
EDENORTE Dominicana, S.A.	1052	22,692
EDESUR Dominicana, S.A.	685	19,594
El Limón	8	26
Luz y Fuerza	63	325
Puerto Plata Electricidad	1	50
Total general	**2126**	**50,281**

Tabla 1. Capacidad Instalada y Número de Clientes PMN

Fuente: ww.cne.gob.do/medición-neta

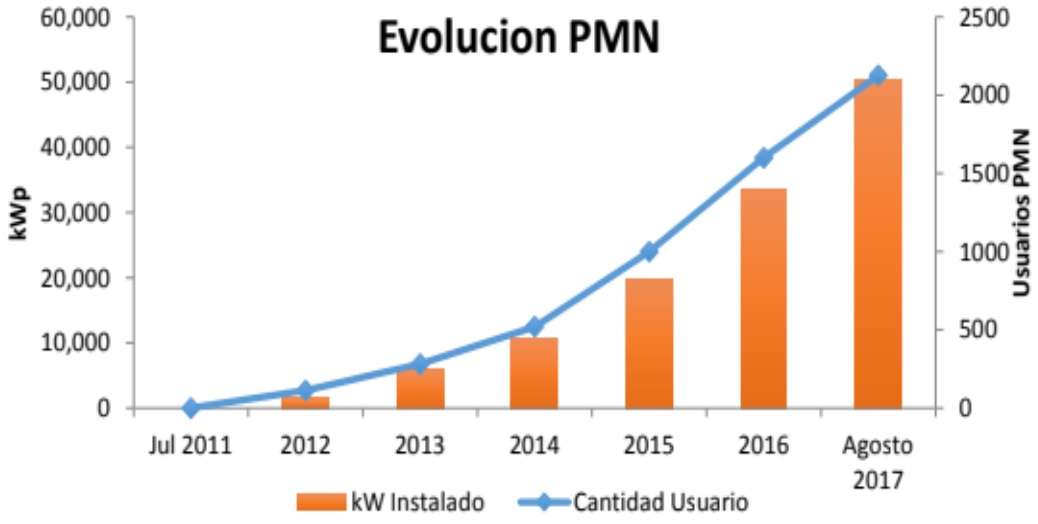


Ilustración 25. Estadísticas Programa Medición Neta

Fuente: ww.cne.gob.do/medición-neta

1.5.3.2. Bombeo Solar en la República Dominicana

RAAS SOLAR instala planta fotovoltaica para sistema de bombeo solar más grande en República Dominicana y Centro América

El proyecto diseñado e instalado en su totalidad por la empresa RAAS SOLAR para INSERCA, propietaria de la finca de Banano Orgánico para exportación en la provincia Valverde, Mao. Respondiendo a la necesidad de agua potable en esta área fue construida esta planta Fotovoltaica, la cual genera suficiente energía para cubrir las necesidades hídricas de toda la plantación (2,050 tareas). (Ecored, 2017)

El proyecto ejecutado por esta empresa consiste en mover motores de más de 200 HP acoplados a turbinas verticales para impulsar más de 4,500 galones por minutos a una distancia de 2 km desde el Rio Mao hasta la zona de riego. Reflejando un ahorro de más de 2,800 galones de gasoil mensuales. (Ecored, 2017)

En dicha instalación fueron utilizados más de 2000 paneles solares, siendo el proyecto de bombeo solar más grande hasta el momento instalado en el país y en toda Centro América. (Ecored, 2017)

CAPITULO II: ANÁLISIS, PLANTEAMIENTO Y CÁLCULOS

2.1. Historia del Centro Olímpico Juan Pablo Duarte

Durante los juegos olímpicos de París, en el año 1924, surgió la iniciativa de organizar un evento deportivo en el que participaran diversos países iberoamericanos. Esta iniciativa, que tuvo como promotores a la Sociedad Olímpica Mexicana, tenía como propósito el de aumentar de manera considerable el nivel competitivo de sus participantes.

"Juegos Centroamericanos y del Caribe" fue el nombre que se le dio a dicha actividad, y se compuso principalmente por las siguientes disciplinas: atletismo, natación, polo acuático, baloncesto, béisbol, fútbol, voleibol, balonmano, ciclismo, equitación, triatlón, etc.

Esta competición, que se celebra cada 4 años, tuvo en el 1974 a República Dominicana como anfitriona. Para tal ocasión, el país caribeño construyó un complejo deportivo que pudiera albergar la diversidad de actividades que comprenden los juegos.

Ilustración 26.Cartel Oficial de los XII Juegos Centroamericanos y del Caribe de República Dominicana 1974

Fuente: www.trabajadores.cu

El Centro Olímpico Juan Pablo Duarte, que toma nombre de uno de Padres de la patria y fundador de la República Dominicana, inició su construcción en el año 1966 y se concluyó en 1974. El encargado de este proyecto fue el ingeniero Juan Ulises García Saleta, y para su desarrollo contó con un presupuesto de 20 millones de pesos dominicanos.

Un punto importante a destacar de complejo, es que desde su concepción este contaría con un proyecto de arborización con el conseguirían bajar la temperatura de la capital dominicana en unos dos grados.

Las instalaciones que se crearon para los Juegos Centroamericanos y del Caribe fueron las siguientes:

- Palacio de los Deportes
- Piscina Olímpica
- Estadio Olímpico
- Velódromo
- Pabellón de voleibol
- Pabellón de gimnasia
- Estadios de softbol
- Estadios de béisbol
- Canchas abiertas de tenis
- Canchas abiertas de voleibol
- Canchas abiertas de baloncesto

Ilustración 27. Fotografía Aérea Centro Olímpico durante su Construcción

Fuente: Diario Libre.

En el año 2003, el Centro Olímpico fue sede de otro gran acontecimiento deportivo, los Juegos Panamericanos del 2003. Estos juegos, a diferencia de los Centroamericanos y del Caribe, dan cabida a todos aquellos países que conforman el continente americano.

Con motivo del evento, el Centro Olímpico sufrió una remodelación de sus instalaciones, así como la integración de nuevas para poder albergar las disciplinas de los juegos. Con una inversión total de 449.7 millones de pesos dominicanos, los trabajos realizados para adecuar el centro se centraron en:

- Complejo acuático
- Pabellón de voleibol

- Pabellón de lucha
- Pabellón de Judo
- Pabellón de esgrima
- Pabellón de ajedrez
- Pabellón de basquetbol
- Pista de entrenamiento
- Cancha de voleibol playa
- Edificio Administrativo Sedefir
- Museo del deporte
- Sala ceremonial Salón de la Fama
- Gimnasio de Boxeo
- Gimnasio Pesas
- Edificio Administrativo de softbol
- Destacamento de la PN
- Destacamento del EN
- Cancha fútbol sala
- Mini estadio de béisbol
- Parques infantiles
- Remodelación pabellón combate
- Pabellón voleibol
- Remodelación complejo acuático

En la actualidad, el Centro Olímpico Juan Pablo Duarte se encuentra bajo la dirección del Ministerio de Deportes y Recreación (MIDEREC) y sirve como centro deportivo para todos los residentes de Santo Domingo, tanto particulares como clubs, asociaciones y entidades privadas. Además, y gracias a la cantidad de vegetación que componen los espacios comunes y las zonas de aparcamiento, sigue siendo ese pulmón verde concebido desde sus inicios para la ciudad.

Los 722,000 metros cuadrados que ocupan el centro están delimitados por 4 avenidas de la ciudad, la Avenida 27 de Febrero, la Avenida Máximo Gómez, la Avenida John F. Kennedy y la Avenida Ortega y Gasset. Además, cuenta con accesos por cada una de estas avenidas, cercanía con rutas de transporte y conexión con las líneas de metro metropolitanas. (Neró, 2014) (Díaz, 2014)

2.1.1. **Dirección y Teléfono**

Dirección: Centro Olímpico, Distrito Nacional, Santo Domingo, Código Postal 10122. República Dominicana.

Teléfono: (809) 563-5211

Ubicación Geográfica

Ilustración 28.Ubicación Centro Olímpico Juan Pablo Duarte.

Fuente: Google Earth 2018.

2.2. Historia del Patronato Acuático

El 24 de Enero de 2011, y mediante el Decreto número 25-11, se crea e integra el Patronato, con la finalidad de administrar y manejar el Centro Acuático del Centro Olímpico.

Esta institución se creó con la intención de garantizar la correcta gestión administrativa de las instalaciones acuáticas, así como de garantizar el adecuado mantenimiento de cada una de las instalaciones.

El complejo está formado por 4 piscinas, área administrativa, cafetería, vestidores y baños, en donde se imparten las disciplinas de natación, en sus diferentes modalidades, waterpolo, natación sincronizada, clavado y terapia acuática.

Las piscinas se dividen en:

- Piscina olímpica, con unas medidas de 25 metros de ancho por 50 de largo, y una profundidad de 10 pies
- Piscina semi-olímpica, con unas medidas de 20 metros de ancho por 50 de largo, y una profundidad de 7 pies
- Piscina de calentamiento, con unas medidas de 12 metros de ancho por 25 de largo, y una profundidad de 5 pies
- Piscina de clavado, con unas medidas de 24 metros de ancho por 25 de largo, y una profundidad de 32 pies

	PATRONATO ACUÁTICO - MEDIDAS PISCINAS				
	Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad (m)	Volumen de agua (m^3)	Volumen de agua (gal)
PISCINA OLIMPICA	25	50	2.8	3,500.00	924,602.62
PISCINA SEMI-OLIMPICA	20	50	2.14	2,140.00	565,328.46
PISCINA CALENTAMIENTO	12	25	1.52	456.00	120,462.51
PISCINA CLAVADO	24	25	10	6,000.00	1,585,033.06
			TOTAL	12,096.00	3,195,426.65

Tabla 2. Medidas de las Piscinas del Patronato

Fuente: Elaboración propia

Todas son administradas por el patronato acuático del Centro Olímpico, las mismas son utilizadas por los atletas para sus prácticas correspondientes, pero también están abiertas al público para cursar clases de natación o recibir algún tipo de terapia acuática.

Institucionalmente, el patronato está formado por un representante del Ministerio de Deportes y recreación (Actual presidente), un directivo de la Federación de Natación (Actual Vicepresidente) y otros cinco miembros.

En la actualidad, el patronato se encuentra presidido por el Lic. Marcos Díaz (Viceministro de Deportes), mientras que el Sr. Mario Aybar ejecuta la función de Director Ejecutivo y Administrador. (Díaz, 2014)

2.2.1. **Dirección y Teléfono**

Dirección: Centro Olímpico, Distrito Nacional, Santo Domingo, Código Postal 10122. República Dominicana.

Teléfono: (809) 563-5263

2.2.2. **Ubicación Geográfica**

Ilustración 29. Ubicación Patronato Acuático

Fuente: Google Earth 2018.

2.3. Sistema de bombeo actual

El día 21 de febrero de 2018 se realizó el estudio correspondiente de lugar, donde se pudieron observar las condiciones estructurales, las de las piscinas, bombas y el área alrededor de la zona acuática. En dicho levantamiento se contabilizaron cuatro piscinas, de las cuales solo tres están en funcionamiento.

Actualmente las instalaciones de las piscinas del Centro Olímpico constan de un sistema de bombeo tradicional, dicho sistema produce altos consumos de energía eléctrica ya que opera las veinticuatro horas los siete días de la semana (24/7), con energía proporcionada de la red nacional eléctrica.

El sistema actual se compone de la siguiente manera según el tipo de piscina:

- **Piscina olímpica:** Consta de tres (3) motores con capacidades de 25 hp y seis (6) filtros.
- **Piscina semi-olímpica:** Consta de dos (2) motores con capacidades de 15 hp y 25hp respectivamente y cuatro (4) filtros.
- **Piscina de calentamiento:** Esta es la más pequeña de todas y consta de un motor de 3hp y un filtro.
- **Piscina de clavado:** La misma se encuentra fuera de servicio por falta de mantenimiento desde hace aproximadamente dos años.

PATRONATO ACUÁTICO - BOMBAS EXISTENTES						
Bomba	Ubicación	Marca	Potencia	Modelo	Horas/día	Días/semana
Bomba 1	Piscina olímpica	IMPEMASA	25hp	25HP-36-256.JM	24	L-D
Bomba 2	Piscina olímpica	IMPEMASA	25hp	25HP-36-256.JM	24	L-D
Bomba 3	Piscina olímpica	IMPEMASA	25hp	25HP-36-256.JM	24	L-D
Bomba 4	Piscina semi-olímpica	IMPEMASA	25hp	25HP-36-256.JM	24	L-D
Bomba 5	Piscina semi-olímpica	AMERICAN TIGER	15hp	MG-15-36-215JM	24	L-D
Bomba 6	Piscina calentamiento	WEG	3hp	11953262	24	L-D

Ilustración 30. Bombas Existentes

Fuente: Elaboración propia.

2.3.1. **Planta de instalaciones**

.

Ilustración 31. Instalaciones Actuales de las Piscinas

Fuente: Google Earth 2018.

Ilustración 32. Ubicación Cuarto de Maquinas

Fuente: Google Earth 2018.

Ilustración 33. Ubicación Gradas

Fuente: Google Earth 2018.

2.3.2. **Diagrama unifilar**

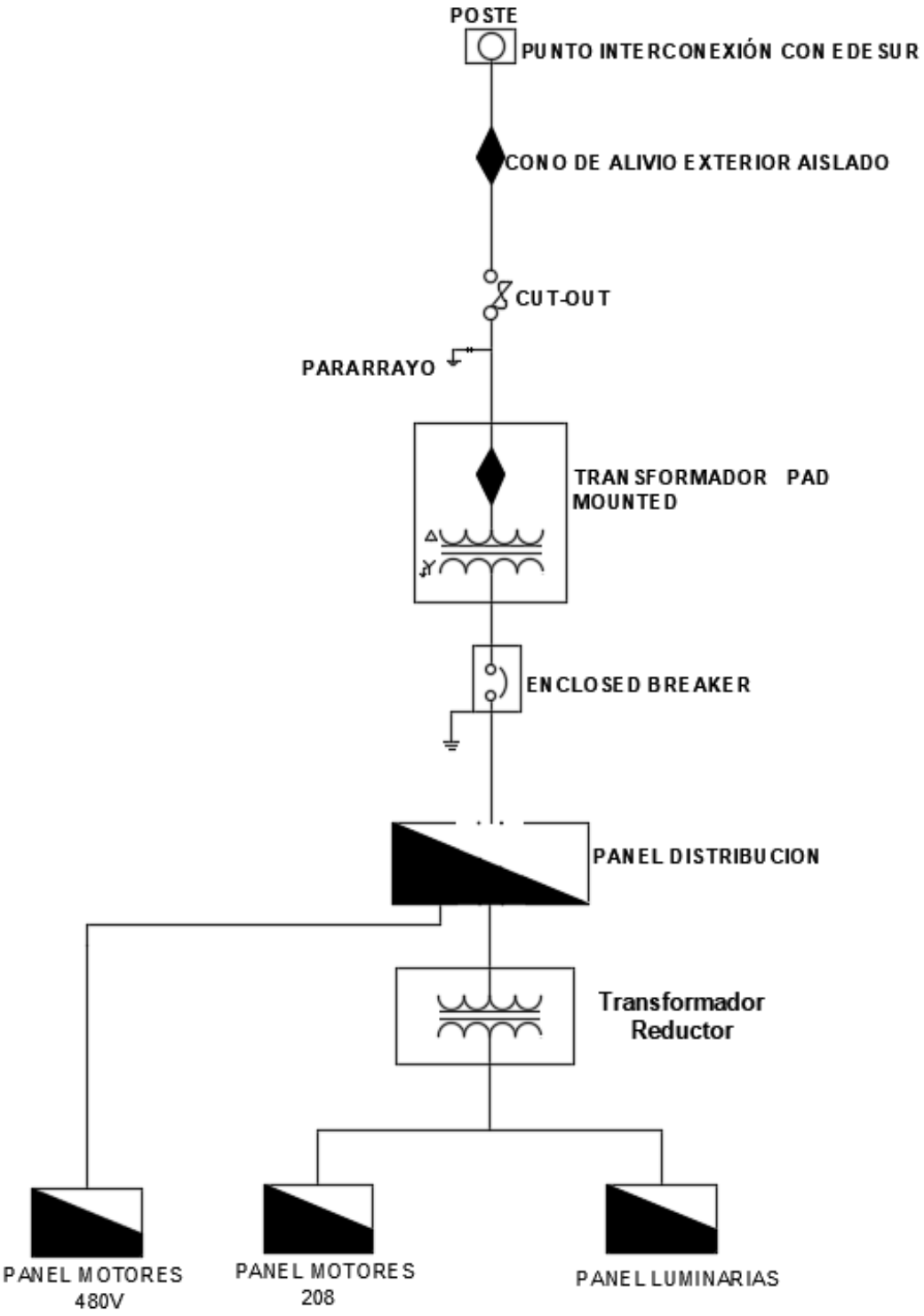


Ilustración 34. Diagrama Unifilar de las Instalaciones

Fuente: Elaboración propia

2.4. Dimensionado de los sistemas de bombeo

2.4.1. **Determinación de las necesidades de energía hidráulica**

Para determinar el total de litros, primero tenemos que calcular: (GPA, 2016)

1. Área de la superficie
2. Promedio de profundidad
3. Volumen
4. Capacidad de la piscina

El tiempo de recirculación del agua de la piscina, es la cantidad de tiempo requerido para circular todo el volumen de agua de la piscina a través del filtro con buenos estándares de seguridad. (toledopiscinas)

Su valor depende de numerosos factores que hacen aconsejable que este tiempo sea mayor o menor.

Capacidad de la piscina

$$CP = V * 1000\ litro/m^3$$

Dónde:

- C.P. Capacidad de la Piscina (litro)
- V = volumen piscina (m^3)

Caudal de bomba

$$Q = \frac{V}{T}$$

Dónde:

- V = volumen piscina (m^3).
- T = tiempo recirculación (h).

- Q = caudal (m^3/h).

2.4.2. **Determinación de la energía solar disponible**

La potencia que va a suministrar el generador solar depende directamente de la radiación solar que impacte sobre la superficie de captación. Esta radiación no es un valor fijo, sino que los valores promedios de radiación varía dependiendo del lugar de ubicación del sistema y de la época del año.

Normalmente, y como estándar en la industria, los valores de radiación se suele proporcionar promediados por mes y su unidad es el $kWh/m^2/día$.

Hay que tener en cuenta que estos valores promedios tienen en cuenta la inclinación del Sol frente al plano terrestre (latitud) y de las condiciones climáticas (principalmente nubosidad). Otro aspecto importante a tener en cuenta de estas bases de datos es que aunque tienen detrás una cantidad de ecuaciones para poder arrojar valores lo más cercanos posibles a la realidad, hay situaciones climatológicas que escapan de toda estadística.

Existen diversas bases de datos en el mercado, algunas de estas son accesibles de manera gratuita mientras otras son de pago. La diferencia entre estas radica en la metodología para la obtención de datos, ya que mientras unas usan satélites otros recopilan información con estaciones meteorológicas ubicadas alrededor del mundo.

Entre las bases de datos destacan:

- Meteonorm
- SolarGIS
- 3TIER
- NREL
- NASA

2.4.2.1. Ángulo de inclinación

Debido a que el ángulo en el que se encuentra el Sol en una misma ubicación varía dependiendo de la época del año, es importante tener en cuenta que el diseño del sistema debe contemplar uno de estos escenarios (aplicados para el hemisferio norte):

1. Prioridad anual. Se buscará una inclinación con la que se consiga la mayor captación solar en el transcurso del año.
2. Prioridad a mayor generación en invierno. Se utiliza una inclinación que favorece la generación en los meses invernales, en detrimento de los veraniegos.
3. Prioridad a mayor generación en verano. Se utiliza una inclinación que favorece la generación en los meses veraniegos, en detrimento de los invernales.

El ángulo de inclinación es un factor crítico cuanto más nos acercamos a los polos terrestres de la Tierra, mientras que las diferencias de inclinación para las distintas estaciones del año son mínimas en ubicaciones cercanas al ecuador.

En el caso de los sistemas de bombeo de pozo para uso agrícola, la prioridad de generación normalmente será en la que más necesidades de agua haya. En el caso de los sistemas de bombeo solar no existe una prioridad de temporada, por lo que se utilizará la prioridad anual.

Para el cálculo de la inclinación óptima con una prioridad anual, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69\ |\emptyset|$$

En donde:

β_{opt}= Inclinación óptima.

$\emptyset$= Latitud

2.4.2.2. Ángulo de Orientación

Del mismo modo que el ángulo de inclinación, el ángulo de orientación óptimo varía dependiendo de la época del año. La orientación este-oeste (azimut) más productiva durante un día es hacia el ecuador (azimut 0).

2.4.3. Dimensionado del generador

Este dimensionado está enfocado en determinar la cantidad de potencia pico necesario para poder suplir la energía requerida para mover el volumen de agua deseado, suponiendo unas condiciones estándar (25°C y 1,000 W/m²).

Factores a tener en cuenta para el dimensionado del generador:

- Potencia necesaria.
- Temperatura de trabajo de los módulos solares.
- Arreglos eléctricos.
- Área disponible.

2.4.3.1. Potencia necesaria

El arreglo fotovoltaico deberá estar diseñado de manera que la potencia de este sea la que se requiere para proveer de energía a la bomba para que trabaje de una manera óptima en el espectro de generación solar. Para ello, debemos tener en cuenta los valores de tensión y corriente máximos para hallar la correcta configuración. La relación establecida entre la potencia AC y DC para definir la potencia DC necesaria se calcula de la siguiente manera:

$$P_{dc} = P_{ac} \times 1.33$$

Dónde:

$P_{dcn} =$ Potencia nominal necesaria en corriente continua en el campo generador.

$P_{ac} =$ Potencia nominal en corriente alterna del motor.

2.4.3.2. Temperatura de trabajo de los módulos solares.

La temperatura de los paneles solares es uno de los parámetros más importantes a la hora de definir la configuración de los paneles, ya que esta afecta directamente a los valores de tensión de las células solares fotovoltaicas.

Para realizar un correcto análisis de los valores con los que se realizarán los cálculos y estudios, es necesario conocer los valores históricos de temperatura. De estos valores, el más importante es el de la temperatura mínima, que nos arrojará la tensión máxima que se alcanzará en un módulo.

2.4.3.3. Arreglos eléctricos.

El conexionado de los módulos deberá respetar el rango de parámetros eléctricos especificados en el controlador de la bomba, que a su vez vendrá definido por el motor eléctrico.

2.4.4. **Valores de tensión**

Hay que discriminar dos valores de tensión: tensión de circuito abierto (Voc) y tensión de máxima potencia (Vmp). En cualquier caso, la tensión no debe superar las tensiones máximas de ninguno de los componentes que conforman el sistema.

La tensión máxima de circuito abierto debe tener en cuenta la temperatura de trabajo del panel, ya que esta afecta inversamente a la tensión y no debemos sobrepasar el límite de tensión del sistema ni poner en peligro su aislamiento. Para ello se utiliza el registro de temperatura más baja registrado en el lugar como Voc máximo del sistema.

Para determinar la tensión máxima de los paneles, se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{ocf}(T_c) = V_{oc} + (T_c - T_{ci}) \times T_{co} \times V_{oc}$$

Dónde:

$V_{ocf}(T_c)$ = Tensión de circuito abierto a temperatura mínima.

V_{oc} = Tensión de circuito abierto condiciones estándar (STC).

T_c = Temperatura mínima.

T_{ci} = Temperatura en STC.

T_{co} = Coeficiente de Temperatura del Voc.

Por otro lado, los valores de tensión de potencia máxima deben ser suficientes para garantizar el funcionamiento del sistema. Estos cálculos se realizan con la tensión de potencia máxima (Vmp). En este caso, hay que contemplar la temperatura máxima del panel para conocer la tensión con la que trabajará. El cálculo se realizará de la siguiente manera:

$$V_{mpf}(T_m) = V_{mp} + (T_m - T_{ci}) \times T_{co} \times V_{mp}$$

Dónde:

$V_{mpf}(T_c)$ = Tensión de potencia máxima abierto a temperatura de trabajo.

V_{mp} = Tensión de máxima potencia condiciones estándar (STC).

T_m = Temperatura de trabajo.

T_{ci} = Temperatura en STC.

T_{co} = Coeficiente de Temperatura del Voc.

Con el valor de tensión DC requerido por el sistema para trabajar, debemos definir la cantidad de paneles en serie que se utilizarán. Se definirá del siguiente modo:

$$\#paneles\ en\ serie = (V_{ac}\ \times 1.41)/V_{mpf}$$

Dónde:

V_{ac} = Tensión nominal de corriente alterna de trabajo del motor.

Este valor deberá redondearse a un número entero, teniendo en cuenta el rango de tensión de trabajo del equipo. Una vez definido ese número, debemos calcular la tensión total de la cadena de paneles en serie:

$$V_{mpa} = V_{mp} \times \#paneles\ en\ serie$$

Dónde:

V_{mpa} = Tensión de potencia máxima del arreglo.

V_{mp} = Tensión de potencia máxima por módulo.

2.4.5. **Valores de Corriente**

La corriente máxima del arreglo fotovoltaico depende directamente de la cantidad de cadenas de módulos que se instalen en paralelo. De cualquier modo, la corriente del equipo tiene que ser tal que no sobrepase la corriente máxima del sistema. Para estos fines, la corriente máxima de cada cadena se calcula teniendo en cuenta la temperatura máxima del panel, utilizando la siguiente fórmula:

$$I_{scf}(T_m) = I_{sc} + (T_m - T_{ci}) \times T_I \times I_{sc}$$

Dónde:

$I_{scf}(T_c)$ = Corriente de cortocircuito a temperatura de trabajo.

I_{sc} = Corriente de cortocircuito condiciones estándar (STC).

T_m = Temperatura de trabajo.

T_{ci} = Temperatura en STC.

T_I = Coeficiente de Temperatura del Isc.

La cantidad máxima de cadenas de módulos solares que podremos instalar en paralelo vendrá limitado por la corriente máxima del sistema. Se calcula de la siguiente manera:

$$I_{mpa} = I_{mp} \times \#arreglos\ en\ paralelo$$

Dónde:

I_{mpa} = Corriente de potencia máxima del arreglo.

I_{mp} = Corriente de potencia máxima por módulo.

2.4.6. **Valores de Potencia**

La potencia eléctrica máxima en corriente continua para el arreglo solar se calcula de la siguiente manera:

$$P_{DC} = I_{mpa} \times V_{mpa}$$

Dónde:

P_{DC} = Potencia máxima del arreglo.

I_{mpa} = Corriente de potencia máxima del arreglo.

V_{mpa} = Corriente de potencia máxima del arreglo.

2.4.6.1. Área disponible.

El primer punto a tener en cuenta es que no toda el área de techo disponible es útil a efectos de instalar paneles solares. Los criterios a tener en cuenta a la hora de disponer de techos son los siguientes:

- Los paneles no pueden estar bajo sombras totales o parciales. Aunque ambas afectan directamente en la generación de los paneles, las parciales generan puntos calientes en las celdas al crearse diferentes tensiones en el arreglo, que pueden terminar dañando el módulo.
- Espacio para mantenimientos. Deben respetarse unos espacios mínimos que garanticen el paso de personal para el mantenimiento de los techos y de las instalaciones que se encuentran en este, incluyendo los paneles solares.
- Normas urbanísticas. En algunos lugares, y como consecuencia de respetar unos cánones estéticos, no se permite que estos sean visibles desde el exterior del edificio.

A efectos de este documento, el levantamiento de las áreas disponibles se realizará mediante el uso de software satelital para demarcar los espacios y arrojar los valores de áreas. Por otro lado, los valores relacionados con los espacios útiles se estiman del levantamiento realizado en las instalaciones así como de soportes gráficos.

2.4.6.2. Pérdidas dc en sistemas solares fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos, como cualquier equipo eléctrico, presentan una serie de pérdidas durante su operación. En el caso de los sistemas fotovoltaicos estas pérdidas influyen directamente en el diseño del sistema, ya que la sumatoria de todas las pérdidas que van desde que el panel recibe los rayos solares hasta que llega a los inversores solares oscilan entre un 15% y un 20%, siendo un valor típico el de 18% para nuestro país.

Un dato importante para el diseño de este tipo de sistemas es entender que la potencia declarada en las fichas técnicas de los módulos solares se basa en unas condiciones estándar (STC), que consiste en someter el panel a una radiación de 1,000W/m² a una temperatura de 25°C. Así, un panel que se encuentre en condiciones diferentes a las STC proporcionará valores de tensión y corriente diferentes a los de la ficha técnica.

Teniendo en cuenta esta información, es una buena práctica de diseño instalar una mayor cantidad de potencia pico en paneles solares para compensar las pérdidas y así aprovechar una mejor relación de potencia DC (Paneles) y potencia AC (Inversores). Hay que entender que en general la potencia máxima que va a recibir el inversor no va a ser la potencia máxima pico de los paneles.

Este criterio afecta directamente al costo de la inversión, haciendo el sistema más eficiente y por lo tanto reduciendo su tiempo de amortización. En el caso de instalar la misma potencia en paneles que en inversores, los inversores se encontrarán trabajando por debajo de su capacidad máxima y por lo tanto la eficiencia de la planta será menor.

Una relación típica se representa en el siguiente diagrama:

Ilustración 35. Diagrama de relación de pérdidas DC

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, desglose de todas las pérdidas que se dan desde que la radiación impacta en el panel hasta que llega al inversor:

- **Pérdidas IAM.** Algunos de los rayos solares, al impactar en la superficie del módulo, rebotan debido a la reflexión del material utilizado. Pese a que se utilizan materiales que pretenden tener el menor coeficiente de reflexión, las pérdidas se estiman en un **3%**. Este valor variará dependiendo de la inclinación, su azimut y al índice de densidad del aire.
- **Pérdidas por suciedad.** Son resultado de los depósitos de polvo y deposiciones que impiden el paso de los rayos solares sobre las celdas fotovoltaicas. Este valor se estima típicamente en un promedio de **3%** para lugares situados cerca de lugares con mucha polución.
- **Pérdidas por Irradiación.** Son las pérdidas derivadas del propio comportamiento del panel y sus variaciones de eficiencia dependiendo del nivel de irradiación que le llegue. Estas pérdidas se estiman en un **0.5%**.
- **Pérdidas Óhmicas.** Pérdidas en cableado DC, debido a la caída de tensión durante el trayecto de la corriente desde el módulo solar hasta el inversor. Se estima que este valor oscila entre un **0.1%** y un **1%** máximo.
- **Pérdidas por Mismatch.** Debido a que los módulos solares no tienen exactamente las mismas características eléctricas, y como consecuencia de los efectos eléctricos, todos los paneles que se encuentren interconectados van a basar su tensión y corriente en base al eslabón más débil. Estas pérdidas, en condiciones normales, pueden rondar un **1%.**
- **Pérdidas por temperatura.** La temperatura de las celdas solares afecta inversamente a la tensión que estos entregarán. Es decir, a mayor temperatura del módulo, menor tensión de entrega. En el caso particular de República Dominicana, las pérdidas por esta condición se estiman en un valor cercano al **8%**.
- **Pérdidas LID (Light Induced Degradation).** Es una pérdida que se presenta durante las primeras horas en las que el panel solar se encuentra bajo los rayos del Sol. Estas pérdidas son la diferencia entre los valores de

los test de fábrica y los valores reales con los que va a trabajar el panel. Las pérdidas se estiman por defecto en un **2%**.

Pérdidas IAM	3%
Pérdidas por Suciedad	3%
Pérdidas por Irradiación	0.5%
Pérdidas Óhmicas	0.6%
Pérdidas por Mismatch	1%
Pérdidas por Temperatura	8%
Pérdidas LID	2%
Total	**18.1%**

Tabla 3. Desglose de pérdidas DC

Fuente: Elaboración propia.

2.4.6.3. Aporte energético del sistema DC

El sistema completo tiene una eficiencia, que poniendo como punto de partida la radiación solar de este país nos dará una estimación del aporte energético total del sistema solar.

Partiendo del sistema de bombeo actual, y teniendo en cuenta que la eficiencia del conjunto motor – bomba va a ser igual en ambas soluciones, se puede calcular la energía necesaria a aportar por el sistema solar mediante el siguiente cálculo:

$$E_{bomba} = Pdc \times E_{dc} \times HPS \times 365/12$$

Dónde:

E_{bomba}= Energía por bomba, en kWh/mes

Pdc= Potencia instalada en DC por bomba, en kW

E_{dc}= Eficiencia de los arreglos en DC

HPS= Horas Pico Sol

2.4.6.4. Fijación de Dióxido de Carbono

Pese a que durante la producción de las células solares se emiten grandes cantidades de CO_2, la larga vida útil de estas lo compensa en sobremanera al no producir ningún tipo de residuo directo de la generación de electricidad.

La cantidad de CO2 que se evita para cada zona depende directamente de las fuentes primarias del parque de generación de la región en la que se van a instalar paneles. En el caso de República Dominicana, donde la matriz energética está compuesta principalmente por plantas que utilizan derivados del petróleo como fuente de generación, por cada MWh que se genera se producen un promedio de 0.6367 toneladas de CO_2.

Esto significa que por cada MWh que dejamos de consumir de la red y consumimos de una fuente renovable estamos evitando que se emitan a la atmósfera 0.6367 toneladas de CO_2, principal causante del efecto invernadero. (Diario Libre, 2013)

2.4.7. **Dimensionado de motor**

Al seleccionar un motor, lo primero que se debe considerar es cuál es la velocidad de rotación y cuál será el torque requerido del motor. (WEG, 2005)

Siempre que se tiene la necesidad de adquirir un motor, hay que hacer antes los siguientes cuestionamientos:

1. ¿Es una instalación nueva o existente?
2. ¿Cuáles son las condiciones de la red eléctrica?
3. ¿Cuál es la carga que el motor va a accionar?
4. ¿Cuáles son las condiciones medioambientales?
5. ¿Cuál va a ser el tiempo de recuperación de la inversión?
6. ¿Qué tipo de normas debe cumplir el motor?
7. ¿Cómo va a ser hecho el arranque del motor?

8. Obviamente, ¿Cuáles son las características de potencia y velocidad requeridas del motor?

Las normas

Existen dos normas bajo las cuales se fabrican los motores.

- IEC Comisión Electrotécnica Internacional que es acogida por la gran mayoría de países y especialmente los europeos.
- NEMA Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos. Es una norma nacional de Estados Unidos, pero es común en muchos países.

Existen otras normas relacionada con los dispositivos y requerimientos necesarios para la correcta y segura operación del motor que son (WEG, 2005):

- La norma NEC 430. Identificación del motor, los controles y protecciones.
- La norma NFPA 79 nos proporciona los requisitos mínimos para todos los componentes electrónicos que se utilizan especialmente en el control y protección de los motores eléctricos.
- La norma EN 60204-1 se encarga de describir los requisitos para funcionamiento del equipo eléctrico.

Criterios para la selección de un motor como prevención de riesgos eléctricos.

Tipo de sistema con el que cuenta la empresa

En casi todas las empresas industriales poseen sistemas trifásicos, normalmente utilizados para la conexión de los motores eléctricos, también existen ciertas áreas en las cuales tenemos únicamente sistemas monofásicos. (España, 2010)

Voltaje dentro de las instalaciones de la empresa.

Debemos de tomar en cuenta el nivel del voltaje con el que se trabaja en la empresa para poder solicitar uno de las características exactas. Y de esta manera que la potencia del motor al momento de realizar su trabajo sea la correcta, para no esforzar la máquina y sus componentes internos. (España, 2010)

Frecuencia

La frecuencia se considera especialmente para poder obtener un valor correcto en la velocidad del motor.

El lugar de instalación.

Por norma, todos los motores están diseñados para operar en un ambiente con temperatura no superior a 40 ºC y en una altura no superior a 1000 metros sobre el nivel del mar. La instalación en cualquier ambiente por encima de estas condiciones hará que el motor deba ser operado a una carga menor de la nominal.

Condiciones del ambiente de trabajo del motor

Se debe considerar son las condiciones propias del ambiente:

- Contaminación.
- Presencia de agentes químicos.
- Utilización en lugares abiertos o cerrados.

Para garantizar una adecuada selección de motor, es importante conocer el significado de grado de protección IP, definido según normas internacionales. . (España, 2010)

IP significa INTERNAL PROTECTION y determina el grado de protección (mecánico) o de encerramiento del motor. Viene seguido de dos cifras características; la primera de ellas indica la protección contra el ingreso de cuerpos sólidos y la segunda indica la protección contra el ingreso de líquidos

Carga a mover por el motor

Se debe realizar un correcto dimensionamiento de la carga que el motor va a mover para poder solicitar uno con la potencia necesaria para dicho trabajo. En el

caso de una sobrecarga en el motor se debe considerar la temperatura que va a llegar a soportar los conductores en especial si estos se encuentran dentro de canaletas con un agrupamiento determinado.

Tipo de arranque del motor

Deberemos tomar en cuenta el tipo de arranque que seleccionaremos para el motor considerando que los diferentes arranques poseen una disminución en el torque de arranque y repercutirá en la potencia de arranque. . (España, 2010)

Velocidad de trabajo del motor

La velocidad dependerá de las necesidades de la empresa y del trabajo que el motor realizará. En el caso de estar en una cadena de trabajo deberá ser considerado en igual proporción con los otros ya instalados o diseñados, en caso de ser toda una instalación nueva.

Torque

$$T = \frac{9550 * P}{n}$$

Dónde:

T: Torque del motor (N*m)

P: Potencia de la Bomba (KW)

n: Velocidad de la bomba (rpm)

Potencia y eficiencia del motor

La potencia eléctrica:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi$$

Dónde:

P: Potencia en kW

V: Voltaje o tensión en voltios

I: corriente en amperios

Cos φ: Factor de potencia

La potencia mecánica:

$$P = T * n / 9550$$

Donde

P: Potencia en kW

T: torque en Nm (El torque es la capacidad del motor de hacer girar cargas).

n: velocidad en rpm

La eficiencia:

$$\eta = Ps / Pe$$

Dónde:

Ps es la potencia de salida, en este caso potencia en el eje

Pe es la potencia de entrada, en este caso potencia eléctrica

2.4.8. Dimensionado de la bomba

2.4.8.1. Datos requeridos para seleccionar bombas centrifugas

La clave para hacer la selección correcta de la bomba radica en el conocimiento del sistema donde ella trabajará.

El ingeniero que especifica una bomba puede hacer una selección errónea por no haber investigado los requisitos totales del sistema. Dejar la responsabilidad de la selección de la bomba al representante del proveedor no es una buena decisión, en vista que le puede ser difícil o imposible conocer los requisitos totales de la operación. Por ello, previo a la elección de la bomba el ingeniero debe obtener los siguientes datos del sistema: (UNATSABAR, 2005)

Bomba

- Número de unidades.
- Tipo de bomba (sólo si existe una preferencia predeterminada).
- Servicio de horas por día y, si es continuo o intermitente.

Características del líquido:

a) Temperatura: Se debe indicar la temperatura de trabajo, así como posibles rangos de variación de la misma.
b) Gravedad específica: Debe ser indicada para la temperatura de bombeo y es vital para una correcta determinación de la potencia.
c) pH: Se debe indicar la acidez o alcalinidad del agua, porque permite elegir el material adecuado de la bomba. Si existe análisis químico es preferible suministrarlo.

(UNATSABAR, 2005)

Condiciones de operación

a) Caudal: Debe ser especificado en litros por segundo. Es muy importante indicarlo en el punto exacto de operación ya que permitirá seleccionar la bomba más eficiente.
b) Altura manométrica total: Se debe especificar en metros de acuerdo a lo calculado, o dar al fabricante todos los datos en un croquis de la instalación, para su cálculo.
c) Condiciones de succión: Para bombas de eje horizontal se debe indicar la altura manométrica total y el NPHS disponible. En los demás tipos de bomba, especificar todos los datos en un croquis de la instalación.

Accionamiento

Se debe indicar claramente si es motor a gasolina, petróleo, eléctrico. En caso de contar con el motor, indicar todas las especificaciones del mismo para seleccionar una bomba que pueda trabajar con él.

Indicar la velocidad de operación, en caso contrario dejar que el fabricante lo indique. En caso de contar con motor indicar la potencia continúa a determinada velocidad. (UNATSABAR, 2005)

Si el motor seleccionado es eléctrico, se debe indicar las características de la corriente eléctrica disponible: voltaje, ciclos y fase.

Material requerido

Se debe indicar el material que se requiere para la carcasa, impulsor, bocina, prensa-estopa y sello mecánico; caso contrario dejar que el fabricante indique lo más apropiado. El criterio primario a considerar en esta elección es la característica del agua con la cual tendrá contacto la bomba. (UNATSABAR, 2005)

Los materiales comúnmente empleados son:

- Hierro, que tiene buena resistencia a la abrasión y a la presión; es empleado para los cuerpos, bases e impulsores de las bombas.
- Bronce, que tiene buena resistencia a la corrosión, pero muy poca a la abrasión.
- Acero, que tiene buena resistencia a las temperaturas y presiones elevadas.

Posición o instalación de las bombas

Debe ser determinada la siguiente información:

- Cómo será la instalación de la bomba: horizontalmente o verticalmente.
- Si se requiere base común.
- Dimensiones de la bomba.
- Tipo de acoplamiento: flexible o cardán.
- Tipo de tablero de control.

Requerimientos especiales

Se debe comprometer al proveedor del equipo a lo siguiente:

- Entregar curvas certificadas.
- Presenciar prueba de operación.
- Presenciar prueba hidráulica.
- Servicio de puesta en marcha.
- Copia lista de partes.
- Copia plano de conjunto.

(UNATSABAR, 2005)

Potencia

$$CV = \frac{QH}{75}$$

Dónde:

CV = Caballos de vapor

Q = Gasto en litros por segundo

H = Altura de bombeo en metros

También puede calcularse utilizando la siguiente formula:

$$CV = \frac{QH}{76\,\eta}$$

P = potencia en HP

Q =caudal en litros por segundo

H = la carga dinámica en metros

η = rendimiento del conjunto motor-bomba

2.4.9. **Dimensionado de las tuberías**

La tubería de succión debe ser lo más corta posible, evitándose al máximo, piezas especiales como curvas, codos, etc. La tubería de succión debe ser siempre ascendente hasta alcanzar la bomba. Se pueden admitir pequeños tramos perfectamente horizontales. (UNATSABAR, 2005)

La altura máxima de succión más las pérdidas de carga, debe satisfacerlas especificaciones establecidas por el fabricante de las bombas. Teóricamente, la altura de succión máxima sería de 10,33 m a nivel del mar (una atmósfera), sin embargo, en la práctica es muy raro alcanzar 7,50 m. Para la mayoría de las bombas centrífugas la altura de succión debe ser inferior a 5 m. (Los fabricantes generalmente especifican, las condiciones de funcionamiento, para evitar la aparición de fenómenos de cavitación. Para cada tipo de bomba debe ser verificada la altura máxima de succión).

El diámetro de la entrada de la bomba no debe ser tomado como indicación para el diámetro de la tubería de succión. Para la tubería se adoptan diámetros mayores con el objeto de reducir las pérdidas de carga. El diámetro de la tubería de succión debe ser tal que la velocidad en su interior no supere los valores especificados en la tabla 5. (UNATSABAR, 2005)

.

Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
50	0,75
75	1,10
100	1,30
150	1,45
200	1,60
250	1,60
300	1,70
400 o mayor	1,80

Tabla 4. Diámetro de la tubería en función a la velocidad

Fuente: Manual de Hidráulica de Acevedo Netto.

2.5. Facturación eléctrica del Centro Olímpico Juan Pablo Duarte

La superintendencia de electricidad de la República Dominicana, es la encargada de la regulación en el sector eléctrico, por tanto, tiene la tarea de establecer los precios tarifarios de la energía eléctrica en el sistema. Dichos precios se establecen mediante la resolución SIE-074-2017-TF como se muestra a continuación:

SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD
"Garantía de todos"
"Año del Fomento a la Vivienda"

SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD

RESOLUCIÓN:

ARTÍCULO 1: ESTABLECER el Cuadro Tarifario del mes de Febrero 2016 correspondiente a las EMPRESAS EDESUR, EDEESTE Y EDENORTE para los usuarios del servicio público servidos desde circuitos interconectados al SENI; en este cuadro se establecen: (i) Las Tarifas Indexadas para el mes de Febrero de 2016; y, (ii) Las Tarifas a ser Aplicadas a dichos usuarios en las facturas que se emitan entre el día primero (1ero.) hasta el día 29 del mes de Febrero de 2016:

TARIFA	CONCEPTO	TARIFA BASE	MES FEBRERO - 2016		
		SEPTIEMBRE 2003	TARIFAS INDEXADAS (RD$)	TARIFAS A APLICAR A USUARIOS (RD$)	% SUBSIDIO FETE
BTS1	**Cargo Fijo por Rangos de Consumo:**				
	(i) Consumo mensual de 0 hasta 100 kWh	20.76	28.71	**37.95**	-32.18%
	(ii) Consumo mensual de 101 kWh en adelante	75.07	103.82	**137.25**	-32.20%
	Cargos por Energía:				
	(i) Los primeros kWh entre 0 y 200	5.04	6.97	**4.44**	36.32%
	(ii) Los siguientes kWh entre 201 y 300	5.04	6.97	**6.97**	0.06%
	(iii) Los siguientes kWh entre 301 y 700	6.21	8.59	**10.86**	-26.48%
	(iv) Consumo de 701 kWh o mayor, todos los kWh a	6.21	8.59	**11.10**	-29.22%
BTS2	**Cargo Fijo**	51.11	70.69	**137.67**	-94.75%
	Cargos por Energía:				
	(i) Los primeros kWh entre 0 y 200	5.04	6.97	**5.97**	14.31%
	(ii) Los siguientes kWh entre 201 y 300	5.04	6.97	**8.62**	-23.65%
	(iii) Los siguientes kWh entre 301 y 700	6.21	8.59	**11.30**	-31.51%
	(iv) Consumo de 701 kWh o mayor, todos los kWh a	6.21	8.59	**11.49**	-33.76%
BTD	**Cargo Fijo**	117.87	163.02	**224.53**	-37.73%
	Energía	4.03	5.57	**7.37**	-32.15%
	Potencia Máxima	543.68	751.93	**993.99**	-32.19%
BTH	**Cargo Fijo**	89.88	124.31	**224.53**	-80.63%
	Energía	3.96	5.48	**7.26**	-32.51%
	Potencia Máxima fuera de punta	138.57	191.65	**253.35**	-32.19%
	Potencia Máxima en horas de punta	772.73	1,068.71	**1,412.74**	-32.19%
MTD1	**Cargo Fijo**	117.87	163.02	**224.53**	-37.73%
	Energía	4.03	5.57	**7.81**	-40.10%
	Potencia Máxima	229.65	317.61	**485.98**	-53.01%
MTD2	**Cargo Fijo**	117.87	163.02	**224.53**	-37.73%
	Energía	4.03	5.57	**7.38**	-32.34%
	Potencia Máxima	170.26	235.48	**340.39**	-44.56%
MTH	**Cargo Fijo**	89.88	124.31	**224.53**	-80.63%
	Energía	3.96	5.48	**7.26**	-32.51%
	Potencia Máxima fuera de punta	53.23	73.62	**97.33**	-32.21%
	Potencia Máxima en horas de punta	538.9	745.32	**985.26**	-32.19%

Párrafo I: Las Tarifas Indexadas fueron calculadas aplicando los siguientes valores: (i) CPI =236.525; (ii) Tasa de Cambio = RD$45.6285 por US$ (promedio del 23 de diciembre 2015 al 20 de enero del 2016, publicada por el Banco Central el 25 de enero); (iii) Precio Fuel Oil No.6 con 3% Azufre = US$23.0359/bbl; (iv) Precio Carbón Mineral = US$50.32/ton, correspondiente al segundo semestre del año 2015; (v) Precio Gas Natural = US$2.2864/ MBTU; (vi) Índice de Cobranza = 0.810; (vii) Participaciones combustibles en generación del SENI aplicadas, corresponden a promedios del período febrero - agosto de 2014: PF = 42.80%; PC = 18.56%; PGN = 38.64%.

RESOLUCIÓN SIE-003-2016-TF Página 3 de 6

Ilustración 36. Resolución SIE

Fuente: Superintendencia de electricidad.

La facturación dependerá del tipo de cliente, ya que se establece un monto fijo por la cantidad de consumo que se tenga, y por el voltaje al cual está conectado en la red de distribución, es decir a mayor demanda de energía más elevado es el cargo establecido por la superintendencia para cada cliente, el cliente puede elegir la opción tarifaria que más le convenga, siempre que cumpla con las condiciones

establecidas por la SIE y este bajo el voltaje que le corresponde. A continuación, se detallan los tipos de cargos según el tipo de tarifa MTD-1:

A) Cargo fijo mensual: es el valor mínimo aplicable, aunque el consumo del cliente sea cero.

B) **Cargo por energía:** valor obtenido por el producto entre los kilowatts/horas del consumo de energía por el precio unitario.

C) Cargo por potencia máxima: valor obtenido del resultado del producto de la potencia máxima del cliente en kW y el precio unitario, este es aplicable, aunque el consumo del cliente sea cero.

El centro olímpico Juan Pablo Duarte, tiene un contrato MTD1 el cual es para tarifas de media tensión con demanda 1. Como podemos ver en la siguiente tabla el costo por cargo fijo es de RD$ 224.53, el costo de la energía por kW/h es de RD$ 7.81 y un último costo de potencia máxima con un valor de RD$485.98 por kW/h.

Facturacion Centro Olimpico Juan Pablo Duarte									
Fecha	Consumo kw/h	Precio kw/h	Energía Facturada	Cargo Fijo	Potencia	Cargo fijo	Potencia Maxima	Otros Cargos	Importe total en RD$
Jun-17	355,200.0	7.81	2,774,112.00	224.53	1,718.40	485.98	835,108.03	380.41	**3,609,824.97**
Jul-17	355,200.0	7.81	2,774,112.00	224.53	1,718.40	485.98	835,108.03	380.41	**3,609,824.97**
Sep-17	403,200.0	7.81	3,148,992.00	224.53	1,627.20	485.98	790,786.66	0	**3,940,003.19**
Oct-17	364,800.0	7.81	2,849,088.00	224.53	1,872.00	485.98	909,754.56	1,722.78	**3,760,789.87**
Nov-17	432,000.0	7.81	3,373,920.00	224.53	1,833.60	485.98	891,092.93	-56,237.30	**4,209,000.16**
Dec-17	393,600.0	7.81	3,074,016.00	224.53	1,852.80	485.98	900,423.74	100,679.75	**4,075,344.02**
Jan-18	345,600.0	7.81	2,699,136.00	224.53	1,852.80	485.98	900,423.74	108,887.51	**3,708,671.78**

Tabla 5. Facturación Centro Olímpico

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de estos consumos, se establece que los montos relacionados con el sistema de recirculación de agua de las piscinas es el siguiente:

PISCINA OILIMPICA	Potencia (hp)	Horas/mes	hp a kw	horas/mes	Consumo Mensual (kw/h)
BOMBA 1	43.2	720	32.23	720	23,204
BOMBA 2	43.2	720	32.23	720	23,204
BOMBA 3	43.2	720	32.23	720	23,204
PISCINA SEMI- OILIMPICA	Potencia (hp)	Consumo	hp a kw	horas/mes	Consumo Mensual (kw/h)
BOMBA 4	26.4	720	19.69	720	14,177
BOMBA 5	26.4	720	19.69	720	14,177
PISCINA CALENTAMIENTO	Potencia (hp)	Consumo	hp a kw	horas/mes	Consumo Mensual (kw/h)
BOMBA 6	8.4	720	6.27	720	4,514

Tabla 27. Consumos de las bombas

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta los hp de cada bomba, estos se convierten kilo-watts para luego proceder a multiplicarlos por la cantidad de horas que tiene un mes, esto daría como resultado el consumo promedio mensual de cada bomba.

CAPITULO III: PROPUESTA TÉCNICA

3.1. Energía solar disponible

Se utiliza la base de datos de NASA para establecer los niveles de radiación promedio para la ciudad de Santo Domingo. De estos valores, las horas pico Sol, son la manera simplificada de establecer una equivalencia de cuantas horas de sol se tienen a una radiación de 1,000 W/m² en un día completo, es decir, unificar toda la energía que se genera en un día equiparada al tiempo que se requiere para tener toda esa energía si se cuenta con la radiación de 1,000W/m². Para la ciudad de Santo Domingo, se establece un valor promedio anual de 5.07 kWh/m²/día.

3.2. Cálculos de los valores del panel solar

El punto de partida del campo fotovoltaico son los paneles “EAGLE Perk JKM370M-72-V” del fabricante Jinko Solar. Se escogió este panel debido a la gran eficiencia del mismo, ya que para este proyecto se cuenta con un espacio limitado. A continuación se desglosan los valores característicos del panel:

Especificaciones del módulo	
Modelo	JKM370M-72-V
Potencia máxima	370W
Tensión a Potencia Máxima (Vmp)	39.9V
Corriente a Potencia Máxima (Imp)	9.28A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	48.5V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	9.61A
Eficiencia del módulo en STC (%)	19.07
Tensión máxima de operación	1500VDC
Coeficiente de Temperatura de Pmax	-0.39%/°C
Coeficiente de Temperatura del Voc	-0.29%/°C
Coeficiente de Temperatura del Isc	0.048%/°C
Torlerancia en potencia	0/+3%

Tabla 6. Especificación del Modulo

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla, junto con los valores de temperatura mínimos registrados en la ciudad de Santo Domingo, nos permite calcular nuevamente los valores de tensión máximos:

Tensión máxima Voc	
Voc (STC) (V)	48.5
Tc (°C)	19
Tci (°C)	25
Tco (°C)	-0.29%
Vocf (TC) (V)	49.3

Tabla 7. Tensión máxima Voc

Fuente: Elaboración propia

Tensión máxima Vmp	
Vmp (STC) (V)	39.9
Tc (°C)	55
Tci (°C)	25
Tco (°C)	-0.29%
Vmpf (TC) (V)	36.4

Tabla 8. Tensión máxima Vmp

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, y teniendo en cuenta la temperatura máxima a la que estará sometido el panel, se calculan los valores máximos de corriente para las condiciones del proyecto.

Corriente máxima Icc	
Icc (STC) (V)	9.61
Tc (°C)	55
Tci (°C)	25
Tco (°C)	0.05%
Iscf (TC) (V)	9.75

Tabla 9. Corriente Máxima Icc

Fuente: Elaboración propia

Corriente máxima Imp	
Imp (STC) (V)	9.28
Tc (°C)	55
Tci (°C)	25
Tco (°C)	0.05%
Impf (TC) (V)	9.41

Tabla 10. Corriente Máxima Imp

Fuente: Elaboración propia

3.3. Áreas de techos disponibles

El área disponible de cada techo fue levantada mediante el uso de imágenes satelitales y complementada con las informaciones recogidas durante el levantamiento llevado a cabo en las instalaciones. Los datos arrojados por este estudio son los siguientes:

PATRONATO ACUÁTICO - ÁREAS DE TECHOS						
	Tamaño (m^2)	Espacio útil (%)	Espacio útil (m^2)	Espacio necesario por panel (m^2)	Cantidad de paneles	Potencia total (kWp)
Grada 1	197.29	100%	197.29	2.2	89	32.93
Grada 2	236.99	100%	236.99	2.5	94	34.78
Grada 3	522.01	100%	522.01	2.5	208	76.96
Grada 4	232.52	100%	232.52	2.5	93	34.41
Grada 5	865.29	45%	389.3805	2.2	176	65.12
Grada 6	757.52	45%	340.884	2.2	154	56.98
Oficinas	1013.47	45%	456.0615	2.5	182	67.34
Total	3825.09		2375.136		996	368.52

Tabla 11. Cantidad de Paneles según Áreas de Techos Disponibles

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de módulos especificados en esta tabla corresponde a la mayor cantidad de módulos que pudieran instalarse, así como su equivalencia en potencia para el módulo de panel seleccionado.

Un punto importante a destacar, es que se ha previsto un especio de aproximadamente 40 cm para el paso del personal para efectos de mantenimiento de los techos.

La sumatoria total de potencia disponible por área da un valor de 368.52kWp.

PATRONATO ACUÁTICO - ÁREAS DE TECHOS	
	Tamaño (m²)
Grada 1	197.29
Grada 2	236.99
Grada 3	522.01
Grada 4	232.52
Grada 5	865.29
Grada 6	757.52
Oficinas	1013.47
Total	3825.09

Tabla 12. Áreas de techos Patronato Acuático

Fuente: Elaboración propia

3.4. Sistema de Bombeos

Para dimensionar el sistema de bombeo se presentan a continuación las variables que intervienen en el cálculo, la Carga (H) fue estimada por medición sobre el mapa presentado anteriormente, a la Cargase le sumo un porcentaje para cubrir las pérdidas por fricción en las tubería.

	Volumen	Capacidad de la Piscina	Tiempo de recirculación	Caudal Total			Carga Estimada (H)
	m³	litro	h	m³/h	litro/min	litro/seg	m
PISCINA OLIMPICA	3500	3500000	6	583.3	9722.2	162.0	60
PISCINA SEMI-OLIMPICA	2140	2140000	6	356.7	5944.4	99.1	40
PISCINA CALENTAMIENTO	456	456000	6	76.0	1266.7	21.1	20

Tabla 13.Caudal según tipo de piscina

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el caudal en diferentes unidades para poder cubrir los diferentes estándares que traen los catálogos de bombas y las formulas presentadas en el capítulo anterior. Además, también se contempló que los sistemas que utilizan como fuente el Sol, al funcionar únicamente en las horas en las que reciben

suficiente radiación solar y tener mayores limitaciones en energía (una bomba conectada a una fuente teóricamente infinita consumirá su potencia máxima mientras esté conectada, mientras que un sistema alimentado por paneles solares variará su generación a lo largo del día, teniendo valores mínimos en horas de la mañana y máximos en las horas cercanas al mediodía) requieren de la instalación de una bomba de mayor tamaño. De este modo, la cantidad de energía que se dedica a la recirculación del agua desde el sistema con paneles solares es igual a la de una bomba convencional de una potencia menor.

En el caso de este país, teniendo en cuenta que se cuenta con un promedio mayor a 5.07 horas, se establece que se requiere el doble de potencia para lograr la misma energía, por lo que las bombas deben dar aproximadamente el doble que las instaladas actualmente.

PISCINA OLIMPICA	Caudal (Q)			Potencia
	m^3/h	litro/min	litro/seg	HP
Bomba 1	194.4	3240.7	54.0	43.2
Bomba 2	194.4	3240.7	54.0	43.2
Bomba 3	194.4	3240.7	54.0	43.2

Tabla 14. Caudal Piscina Olímpica

Fuente: Elaboración propia

PISCINA SEMI-OLIMPICA	Caudal (Q)			Potencia
	m^3/h	litro/min	litro/seg	HP
Bomba 4	178.3	2972.2	49.5	26.4
Bomba 5	178.3	2972.2	49.5	26.4

Tabla 15. Caudal Piscina Semi-olímpica

Fuente: Elaboración propia

PISCINA CALENTAMIENTO	Caudal (Q)			Potencia
	m^3/h	litro/min	litro/seg	HP
Bomba 6	76.0	1266.7	21.1	5.6

Tabla 16. Caudal Piscina Calentamiento

Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla muestra la potencia recomendada para el conjunto moto-bomba de cada una de las piscinas olímpicas.

Conjunto Motor Bomba	Rendimiento (η)	Potencia
		HP
Moto-Bomba 1	0.8	53.3
Moto-Bomba 2	0.8	53.3
Moto-Bomba 3	0.8	53.3
Moto-Bomba 4	0.85	30.7
Moto-Bomba 5	0.85	30.7
Moto-Bomba 6	0.78	7.1

Tabla 17. Potencia recomendada para motor-bomba

Fuente: Elaboración propia

Para la selección de un modelo en específico los fabricantes proporcionan la gráfica característica de la moto-bomba, las cuales se pueden seleccionar con la intercepción de H y Q. Las gráficas a continuación son del catálogo de bombas de LOWARA para validar los datos ya calculado y tener un modelo comercial.

Gráfica muestra la selección de las bombas.

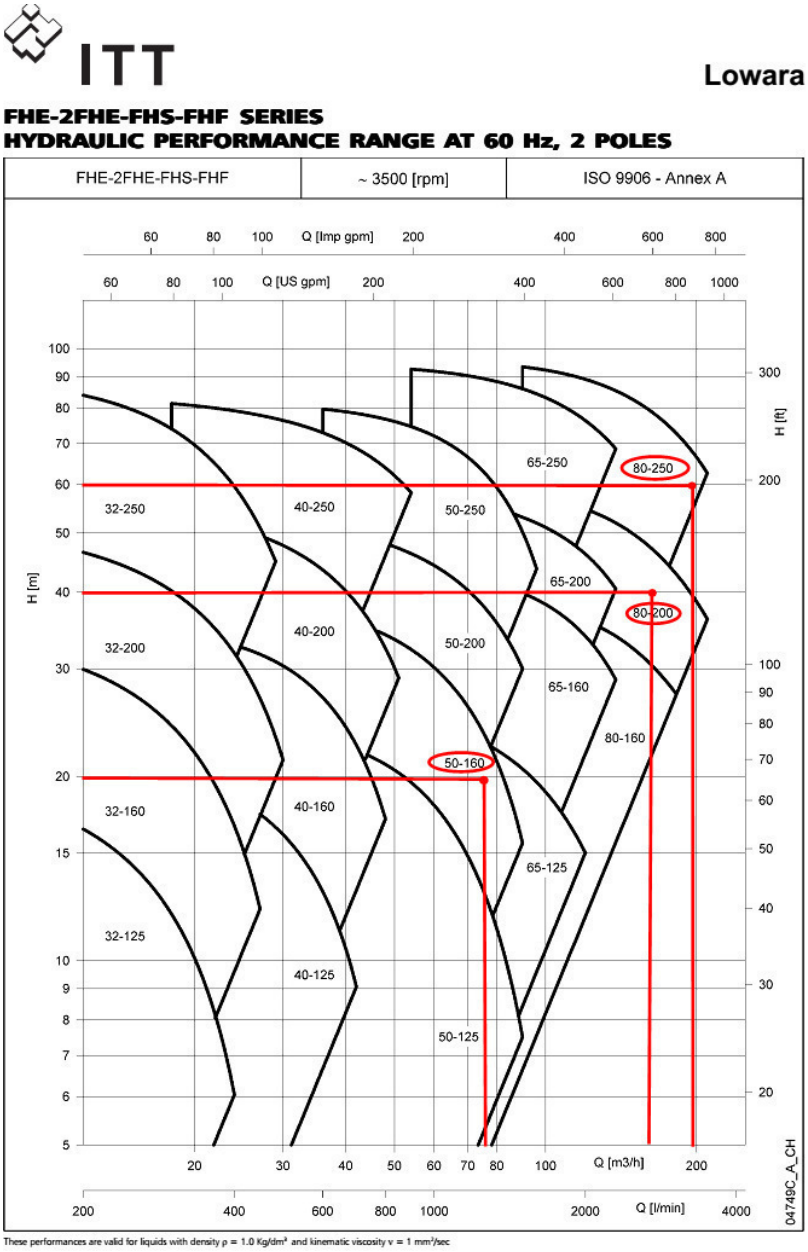


Ilustración 37. Grafica característica de las bombas

Fuente: LOWARA

Gráfica que muestra la selección de las bombas de la Piscina Olímpica.

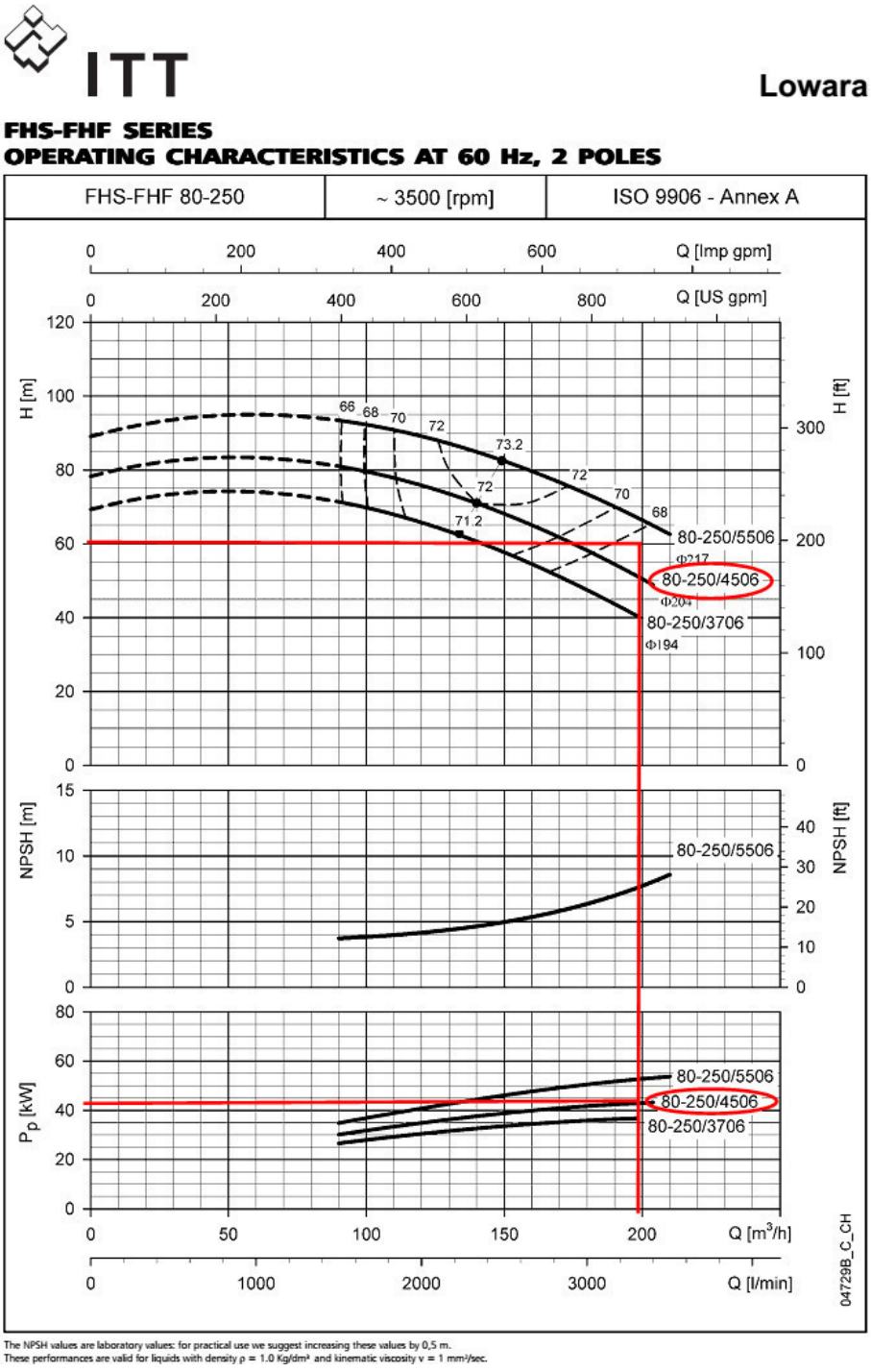


Ilustración 38. Selección de bombas para la Piscina Olímpica según grafica

Fuente: LOWARA

Gráfica que muestra la selección de las bombas de la Piscina Semi-Olímpica.

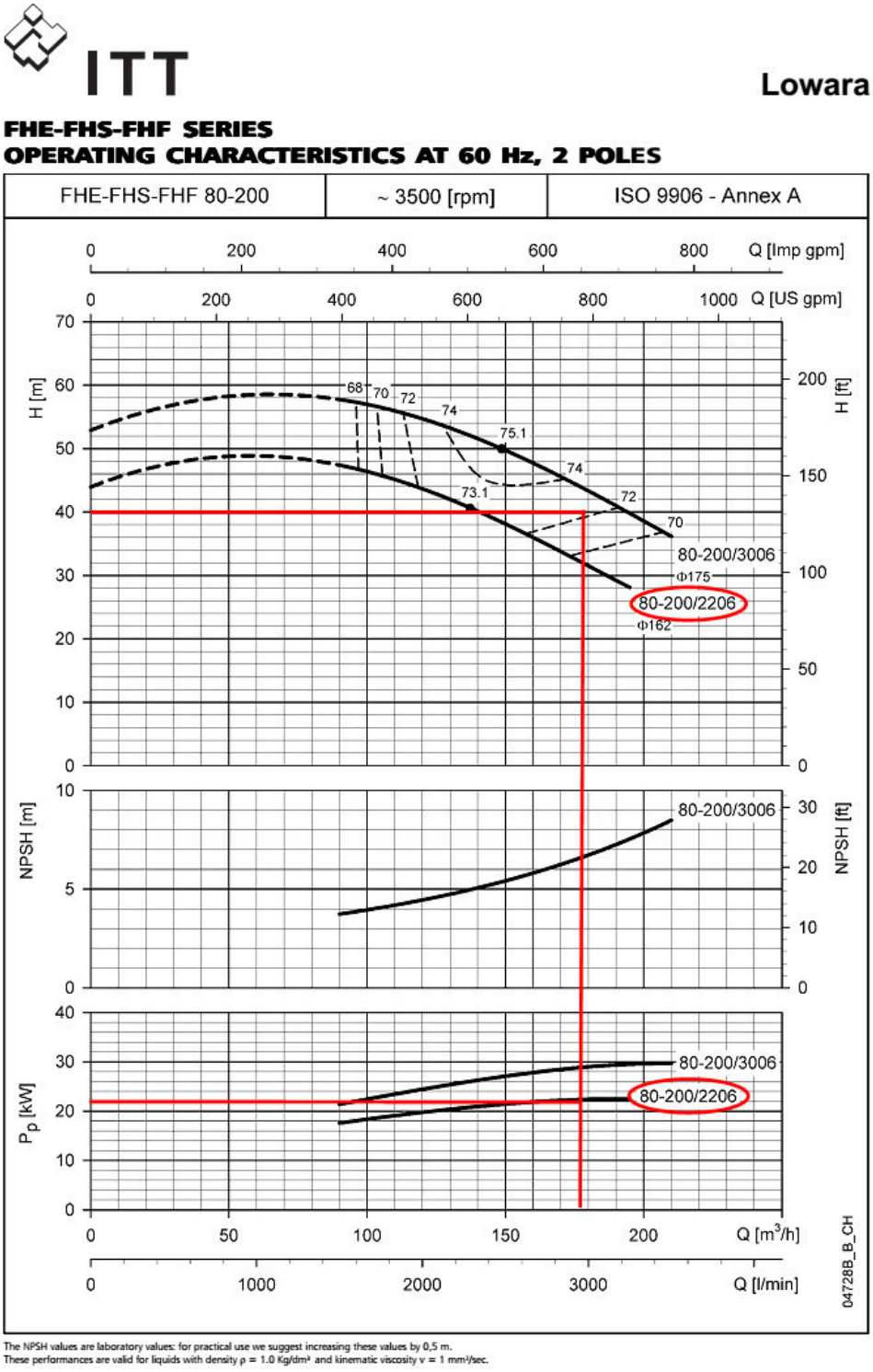


Ilustración 39. Selección de bombas para la Semi-Olímpica

Fuente: LOWARA

Gráfica sobre la selección de las bombas de la Piscina de Calentamiento.

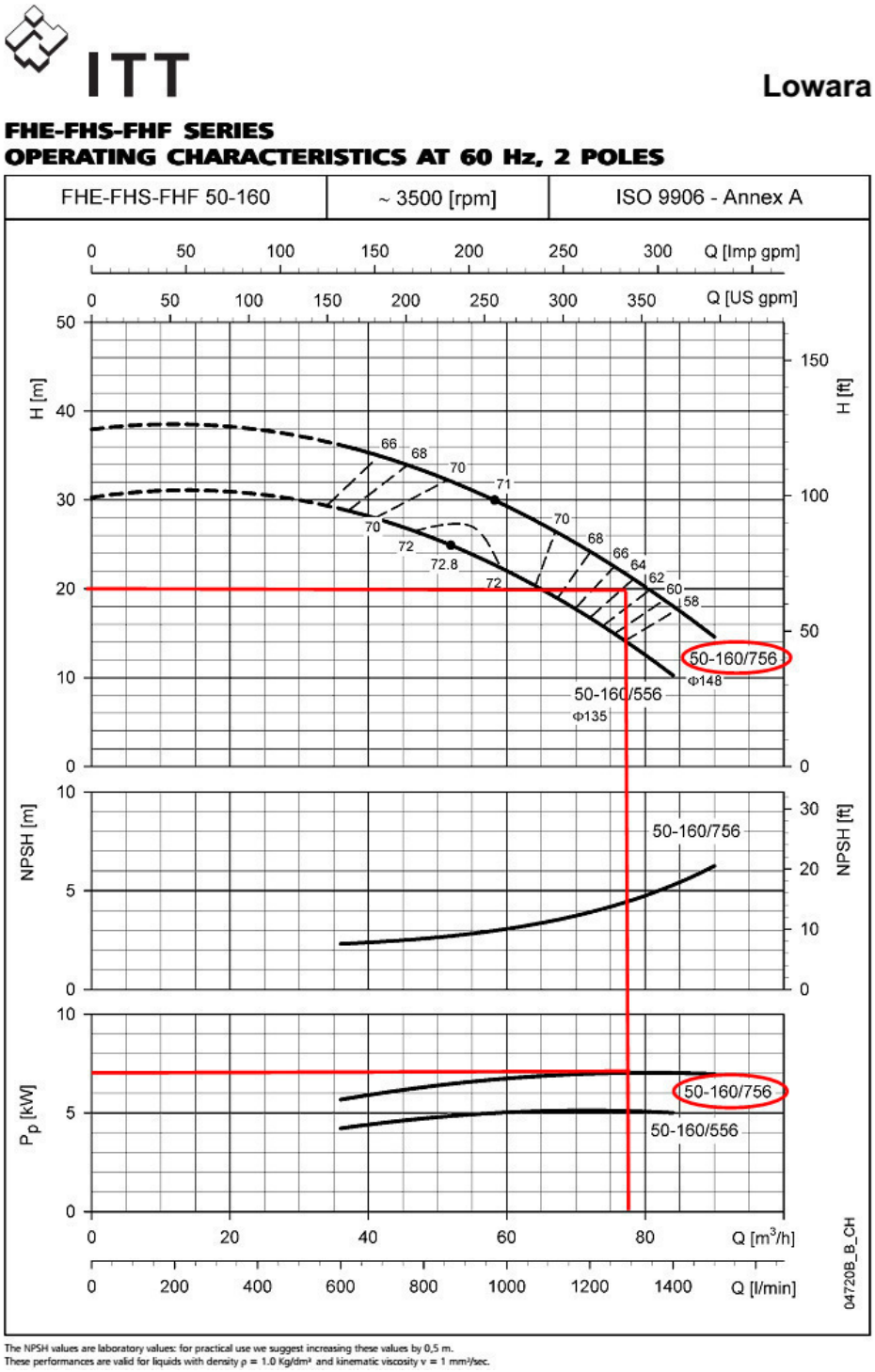


Ilustración 40. Selección de bombas para piscina de calentamiento

Fuente: LOWARA

La siguiente tabla resume todos modelos de bombas seleccionado mediante el método gráfico y la interpretación de los códigos en potencia.

Selección de las Moto-Bombas (Método Grafico)	Código del Catalogo	Potencia		Frecuencia	Velocidad aprox.
	LOWARA	KW	HP	Hz	RPM
Moto-Bomba 1	FH 80-250/4506	45.0	60	60	3500
Moto-Bomba 2	FH 80-250/4506	55.0	74	60	3500
Moto-Bomba 3	FH 80-250/4506	45.0	60	60	3500
Moto-Bomba 4	FH 80-200/2206	22.0	30	60	3500
Moto-Bomba 5	FH 80-200/2206	22.0	30	60	3500
Moto-Bomba 6	FH 50-160 / 756	7.5	10	60	3500

Tabla 18. Selección de Bombas por método grafico

Fuente: Elaboración propia

Los resultados coinciden los calculados, quedan validadas las potencias de las bombas.

3.5. Selección de los variadores de frecuencia

La topología propuesta es la de un variador de frecuencia para cada una de las bombas. Para este proyecto, se contempla el uso de variadores de frecuencia de la marca ABB, los cuales vienen preparados para trabajar tanto con corriente alterna como con corriente continua proveniente de arreglos de módulos solares.

Bajo la premisa de que los variadores seleccionados deben tener una potencia nominal igual o superior a la del motor, y teniendo en cuenta el rango de potencias que ofrece el fabricante, los variadores seleccionados para cada bomba son los siguientes:

Piscina Olimpica	Potencia	Variador ACSM1		Corriente Nominal	Corriente Max.	Voltaje
	HP	Modelo	FRAME	AMP	AMP	Volt.
Moto-Bomba 1	60	090A-4	D	90	150	460
Moto-Bomba 2	60	090A-4	D	90	150	460
Moto-Bomba 3	60	090A-4	D	90	150	460

Piscina Pre-Olimpica	Potencia	Variador ACSM1		Corriente Nominal	Corriente Max.	Voltaje
	HP	Modelo	FRAME	AMP	AMP	Volt.
Moto-Bomba 4	30	046A-4	C	46	81	460
Moto-Bomba 5	30	046A-4	C	46	81	460

Piscina Calentamiento	Potencia	Variador ACSM1		Corriente Nominal	Corriente Max.	Voltaje
	HP	Modelo	FRAME	AMP	AMP	Volt.
Moto-Bomba 6	10	016A-4	B	16	28	460

Tabla 19. Selección de variadores por moto-bomba

Fuente: Elaboración propia

3.6. Cálculos de arreglos solares

Teniendo en cuenta las características de los variadores de frecuencia a utilizar, se procede en primer lugar a establecer la longitud máxima que puede tener la cadena de paneles en serie para no superar la tensión de aislamiento del mismo, definida en 1.000VDC.

Número máximo de paneles en serie - Aislamiento	
Tensión máxima equipo	1000
Tensión Vocf (19°C)	49.34
Número máximo de paneles en serie	20

Tabla 20. Aislamiento para el número máximo de paneles

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, hay que tener en cuenta el valor de tensión requerido por el variador para realizar una conversión correcta. Aquí se tienen en cuenta los valores de tensión especificados por los diferentes variadores y motores.

Número máximo de paneles en serie - Tensión AC	
Tensión AC	460
Tensión requerida en DC	648.6
Tensión Vmpf (55°C)	36.43
Número de paneles en serie	18

Tabla 21. Tensión AC para número máximo de paneles

Fuente: Elaboración propia

Para la cantidad de paneles en paralelo máximos que podemos instalar, tendremos en cuenta la corriente máxima permitida por cada uno de los drivers.

Número máximo de cadenas en paralelo	
Corriente máxima (A)	21
Corriente Iscf (55°C)	9.75
Número de cadenas en paralelo	2

Tabla 22. Corriente máxima permitida para driver 016A-4

Fuente: Elaboración propia

Número máximo de cadenas en paralelo	
Corriente máxima (A)	40
Corriente Iscf (55°C)	9.75
Número de cadenas en paralelo	4

Tabla 23. Corriente máxima permitida para driver 031A-4

Fuente: Elaboración propia

Número máximo de cadenas en paralelo	
Corriente máxima (A)	58
Corriente Iscf (55°C)	9.75
Número de cadenas en paralelo	6

Tabla 24. Corriente máxima permitida para driver 046A-4

Fuente: Elaboración propia

Por último, hay que adecuar los arreglos a la potencia máxima que puede recibir el driver, garantizando que no se supere ninguno de los valores máximos de tensión y corriente, pero al mismo tiempo garantizando que la tensión de los arreglos será la recomendada por el fabricante para trabajar.

Arreglos según Potencia DC requerida por bomba	
Potencia requerida DC (kW)	10
Paneles en serie	19.00
Tensión de la cadena	692.15
Paneles en paralelo	1.00
Corriente del arreglo	9.41
Potencia de arreglos DC (kW)	7

Tabla 25. Potencia máxima requerida para driver 016A-4

Fuente: Elaboración propia

Arreglos según Potencia DC requerida por bomba	
Potencia requerida DC (kW)	31
Paneles en serie	19.00
Tensión de la cadena	692.15
Paneles en paralelo	4.00
Corriente del arreglo	37.65
Potencia de arreglos DC (kW)	28

Tabla 26. Potencia máxima requerida para driver 031A-4

Fuente: Elaboración propia

Arreglos según Potencia DC requerida por bomba	
Potencia requerida DC (kW)	33
Paneles en serie	18.00
Tensión de la cadena	655.72
Paneles en paralelo	5.00
Corriente del arreglo	47.07
Potencia de arreglos DC (kW)	33

Tabla 27. Potencia máxima requerida para driver 046A-4

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta una tabla resumen con la cantidad de módulos que se necesitan para la totalidad de las bombas:

	Paneles en serie	Cadenas en paralelo	Total módulos	Total potencia kW
Moto-Bomba 1	18	5	90	33.3
Moto-Bomba 2	18	5	90	33.3
Moto-Bomba 3	18	5	90	33.3
Moto-Bomba 4	19	4	76	28.12
Moto-Bomba 5	19	4	76	28.12
Moto-Bomba 6	19	1	19	7.03
		Total:	441	163.17

Tabla 28. Cantidad de módulos requeridos

Fuente: Elaboración propia

3.7. Aporte energético del sistema

Se aplica la fórmula anteriormente descrita, generando como resultado la siguiente tabla:

	Potencia en DC kW	Energía aportada kWh/mes	Energía aportada USD	
Moto-Bomba 1	33.3	4,205.79	USD	672.93
Moto-Bomba 2	33.3	4,205.79	USD	672.93
Moto-Bomba 3	33.3	4,205.79	USD	672.93
Moto-Bomba 4	28.12	3,551.56	USD	568.25
Moto-Bomba 5	28.12	3,551.56	USD	568.25
Moto-Bomba 6	7.03	887.89	USD	142.06
	Total:	20,608.38	USD	3,297.34

Tabla 29. Aporte energético del sistema

Fuente: Elaboración propia

3.8. Resumen de propuesta técnica

Nuestra propuesta consiste en poder utilizar la energía solar a través de los paneles solares, que alimentan un variador de frecuencia con entrada de corriente continua (D.C.) para brindarle la potencia necesaria a las Moto-Bomba, y poder recircular el caudal necesario en las piscinas. Si la cantidad de radiación solar no es suficiente variador de frecuencia puede intercambiar la fuente de alimentación por la de la distribuidora eléctrica (AC) de manera manual o automática como se disponga.

Piscina Olimpica	Moto Bomba	Variador	Total paneles	Potencia DC
	HP	Modelo	uds.	kW
Moto-Bomba 1	45	090A-4	90	150
Moto-Bomba 2	45	090A-4	90	150
Moto-Bomba 3	45	090A-4	90	150

Piscina Pre-Olimpica	Moto Bomba	Variador	Corriente Nominal	Corriente Max.
	HP	Modelo	uds.	kW
Moto-Bomba 4	22	046A-4	46	81
Moto-Bomba 5	22	046A-4	46	81

Piscina Calentamiento	Moto Bomba	Variador	Corriente Nominal	Corriente Max.
	HP	Modelo	uds.	kW
Moto-Bomba 6	7.5	016A-4	16	28

Tabla 30. Cuadro resumen de propuesta técnica

Fuente: Elaboración propia

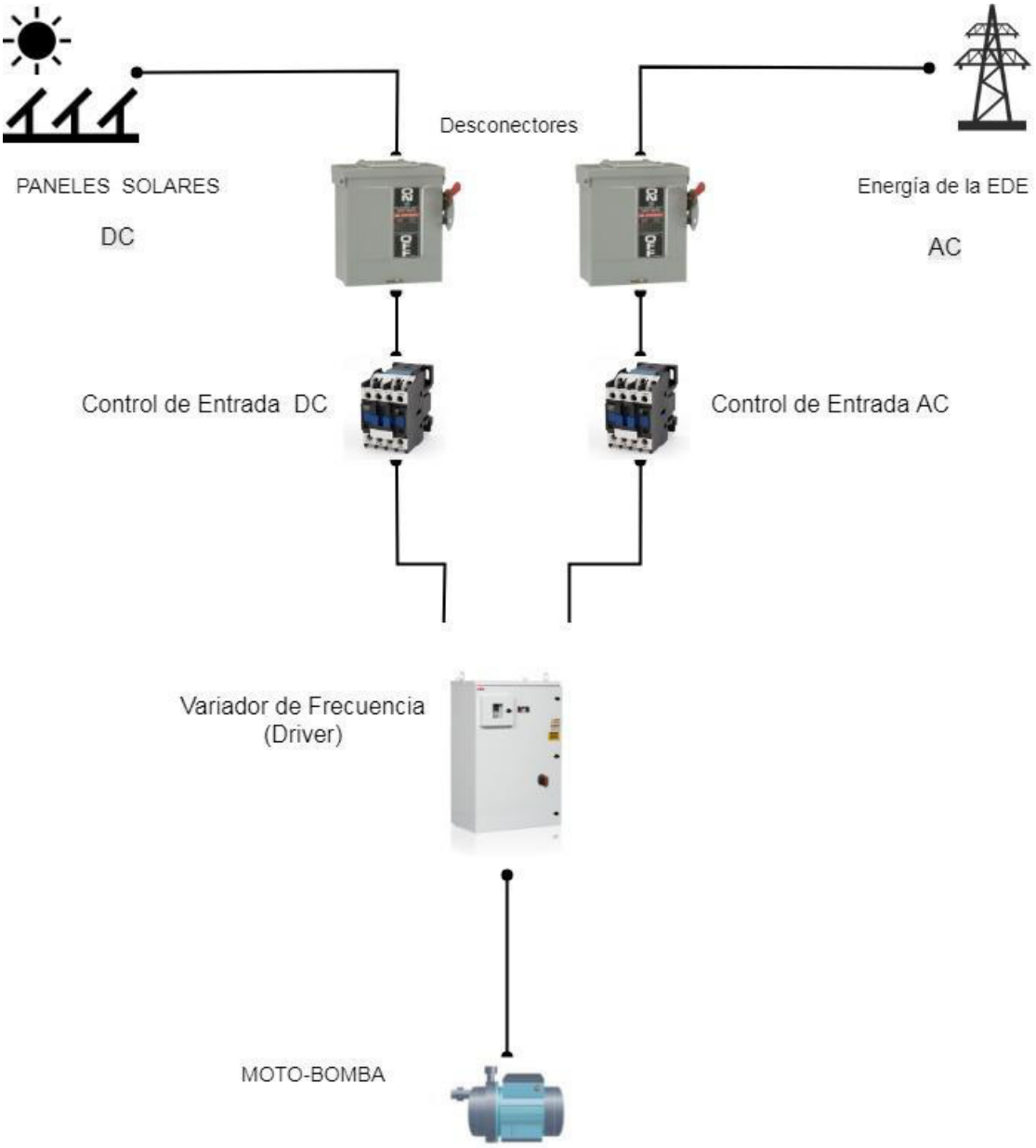


Ilustración 41. Diagrama de la propuesta del sistema de Bombeo Solar

Fuente: Elaboración propia

A continuación se encuentra un resumen de la propuesta técnica para el proyecto:

CAPITULO IV: ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1. Presupuesto

En este apartado se presenta una estimación de los costos vinculados al proyecto para la instalación del nuevo sistema propuesto en las instalaciones de las piscinas del Centro Olímpico.

Presupuesto - Sistema de Bombeo Solar			
Cantidad	**Concepto**	**Precio Unitario**	**Total**
441	Panel solar JKM370M-72-V	USD 260.00	USD 114,660.00
3	Bomba Grundfos 60HP	USD 6,800.00	USD 20,400.00
2	Bomba Grundfos 30HP	USD 4,300.00	USD 8,600.00
1	Bomba Grundfos 7.5HP	USD 2,990.00	USD 2,990.00
4	Variador ABB ACSM1-090A-4 60HP	USD 3,125.00	USD 12,500.00
1	Variador ABB ACSM1-090A-4 30HP	USD 1,980.00	USD 1,980.00
1	Variador ABB ACSM1-090A-4 10HP	USD 495.00	USD 495.00
1	Estructura Schletter para instalación paneles	-	USD 21,212.10
		Subtotal	USD 182,837.10
1	Mano de Obra	8.0%	USD 14,626.97
1	Imprevistos	2.0%	USD 3,656.74
1	Logística	1.0%	USD 1,828.37
1	Seguros	0.5%	USD 914.19
		Total	USD 203,863.37

4.2. Tiempo de retorno simple y rentabilidad de la inversión

Teniendo en cuenta el costo de la energía y los ahorros mensuales que representarán la implementación de la solución propuesta, comparados con los costos de la misma, se calcula el tiempo de retorno simple de la inversión:

$$Tiempo\ de\ retorno\ de\ inversion = \frac{\text{US\$203,863.37}}{\text{US\$3,297.34}/mes} = 61.8 \cong 62\ meses$$

El mismo valor, expresado en años nos da un tiempo de 5 años y 2 meses.

Teniendo en cuenta el tiempo de retorno de la inversión, que la vida útil de los equipos supera los 10 años (25 para los paneles solares), y que el costo de mantenimiento de los equipos son mínimos y ya se encuentra contemplado dentro

de las operaciones actuales del complejo, se considera que esta solución es económicamente viable.

CONCLUSIONES

El propósito de este documento es el de validar, desde un punto de vista técnico y económico, que se puede sustituir el sistema de bombeo de las piscinas del complejo deportivo Juan Pablo Duarte por un sistema de bombeo que tiene como fuente de energía principal la radiación solar.

A raíz del levantamiento que se llevó a cabo en las instalaciones del centro se pudo constatar el estado del sistema de saneamiento del agua de las piscinas y recopilar toda la información necesaria para poder realizar el presente estudio. Como resultado de esa actividad, se obtuvo el esquema de un sistema conformado por bombas de superficie convencionales que están conectadas a la red eléctrica de la compañía distribuidora.

El sistema propuesto, con un costo estimado total de US$ 203,863.37, permite ahorrar un total de US$ 3,297.34 mensuales en concepto de energía eléctrica de la distribuidora sin alterar de modo alguno la operatividad del sistema de recirculación de las piscinas.

Este ahorro se consigue a través de los 20,603.38 kWh que se generarán mediante el uso de esta fuente alterna, evitando a su vez que se emitan más de 150 toneladas de CO_2 anuales a la atmósfera.

Además, hay que destacar que la imagen del centro olímpico, lugar de reunión de cientos de amantes del deporte, gozaría de una mejor opinión pública poniéndose a la vanguardia de las nuevas tecnologías amigables con el medioambiente.

RECOMENDACIONES

Como se puede apreciar en el estudio de retorno de la inversión, la viabilidad de este proyecto está garantizada en un plazo inferior a 6 años, por lo que se recomienda proceder con la propuesta para la implementación de un sistema de bombeo solar para la sustitución del sistema convencional que actualmente se encuentra en las piscinas del Centro Olímpico Juan Pablo Duarte.

Además, también se recomienda estudiar la viabilidad de sustituir las lámparas que se utilizan para iluminar el área del centro acuático por otras LED, con lo que se lograría un ahorro de energía y un uso más eficiente de la energía.

Por otro lado, se recomienda el estudio de un sistema fotovoltaico para cubrir la demanda de todos los servicios auxiliares, como son las luces, las maquinarias que se utilizan en el centro o la zona de la cafetería.

También se evidencia la complejidad para dar seguimiento a todas las instalaciones del centro acuático, por lo que se recomienda la implementación de un sistema informático para la gestión de los distintos equipos, priorizando en las bombas de recirculación, la iluminación exterior y la climatización de las oficinas.

Debido a que el centro tendría una nueva función al evitar CO_2 a la atmósfera, se recomienda la inclusión de actividades que inviten a los usuarios de las piscinas a conocer los proyectos que se llevan a cabo para garantizar un futuro eco sostenible.

Por último también se recomienda que estas actuaciones estén dirigidas en conjunto entre el Ministerio de Deportes y la Comisión Nacional de Energía (CNE), ya que esta última puede velar por que las soluciones que se vayan a aplicar en el centro cuenten con las garantías mínimas de equipos y calidades de instalación requeridas.

APÉNDICES.

SSE Homepage | Find A Different Location | Accuracy | Methodology | Parameters (Units & Definition)

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data

Latitude 18.485 / Longitude -69.922 was chosen.

	Unit	Climate data location
Latitude	°N	18.485
Longitude	°E	-69.922
Elevation	m	89
Heating design temperature	°C	20.87
Cooling design temperature	°C	28.43
Earth temperature amplitude	°C	3.87
Frost days at site	day	0

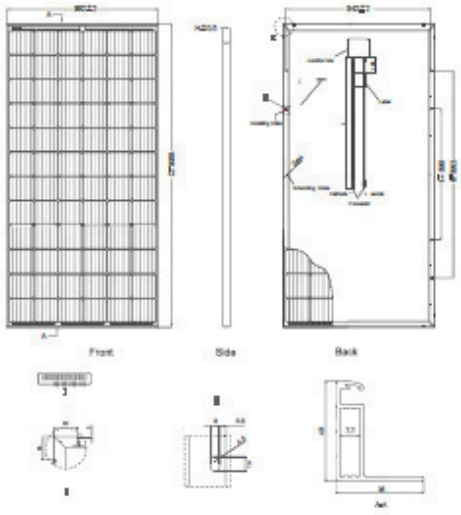
Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	23.9	76.7%	4.20	100.6	6.4	24.7	0	438
February	23.9	74.9%	4.80	100.6	6.2	24.8	0	400
March	24.4	73.8%	5.48	100.5	5.9	25.6	0	450
April	25.0	75.4%	5.80	100.5	5.2	26.7	0	451
May	25.5	79.4%	5.68	100.5	5.3	27.2	0	482
June	25.8	81.8%	5.67	100.6	5.8	27.2	0	473
July	25.8	81.6%	5.62	100.6	6.3	27.1	0	488
August	25.9	81.9%	5.42	100.5	5.9	27.3	0	492
September	25.9	82.5%	5.10	100.3	5.2	27.3	0	478
October	25.6	82.4%	4.80	100.3	4.7	27.1	0	490
November	25.2	79.9%	4.27	100.3	5.9	26.3	0	464
December	24.5	77.5%	4.01	100.5	6.2	25.3	0	456
Annual	25.1	79.0%	5.07	100.5	5.7	26.4	0	5562
Measured at (m)					10.0	0.0		

https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=18.485172&lon=-69.922338&submit=Submit

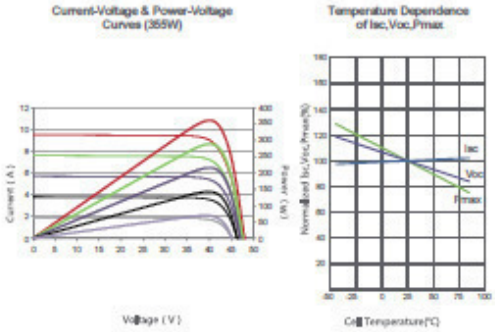
Apéndice A. Datos meteorológicos para Santo Domingo de NASA

Apéndice B. Ficha técnica paneles solares Eagle PERC 72M-V

Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono-crystalline PERC 156×156mm (6 inch)
No.of cells	72 (6×12)
Dimensions	1956×992×40mm (77.01×39.05×1.57 inch)
Weight	26.5 kg (58.4 lbs)
Front Glass	4.0mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1×4.0mm², Length:900mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets =One stack)

26pcs/pallet , 52pcs/stack, 624 pcs/40'HQ Container

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM350M-72-V		JKM355M-72-V		JKM360M-72-V		JKM365M-72-V		JKM370M-72-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	350Wp	262Wp	355Wp	266Wp	360Wp	270Wp	365Wp	274Wp	370Wp	278Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	39.1V	37.2V	39.3V	37.5V	39.5V	37.7V	39.7V	37.9V	39.9V	38.1V
Maximum Power Current (Imp)	8.94A	7.05A	9.04A	7.09A	9.12A	7.17A	9.20A	7.24A	9.28A	7.30A
Open-circuit Voltage (Voc)	47.5V	46.0V	47.8V	46.2V	48.0V	46.5V	48.2V	46.8V	48.5V	47.0V
Short-circuit Current (Isc)	9.38A	7.46A	9.45A	7.54A	9.51A	7.61A	9.57A	7.68A	9.61A	7.75A
Module Efficiency STC (%)	18.04%		18.30%		18.55%		18.81%		19.07%	
Operating Temperature(℃)	-40℃~+85℃									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.39%/℃									
Temperature coefficients of Voc	-0.29%/℃									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/℃									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2℃									

STC: Irradiance 1000W/m² | Cell Temperature 25°C | AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² | Ambient Temperature 20°C | AM=1.5 | Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. EN-JKM-370M-72-PERC-V_rev2017

Apéndice C. Ficha técnica paneles solares Eagle PERC 72M-V

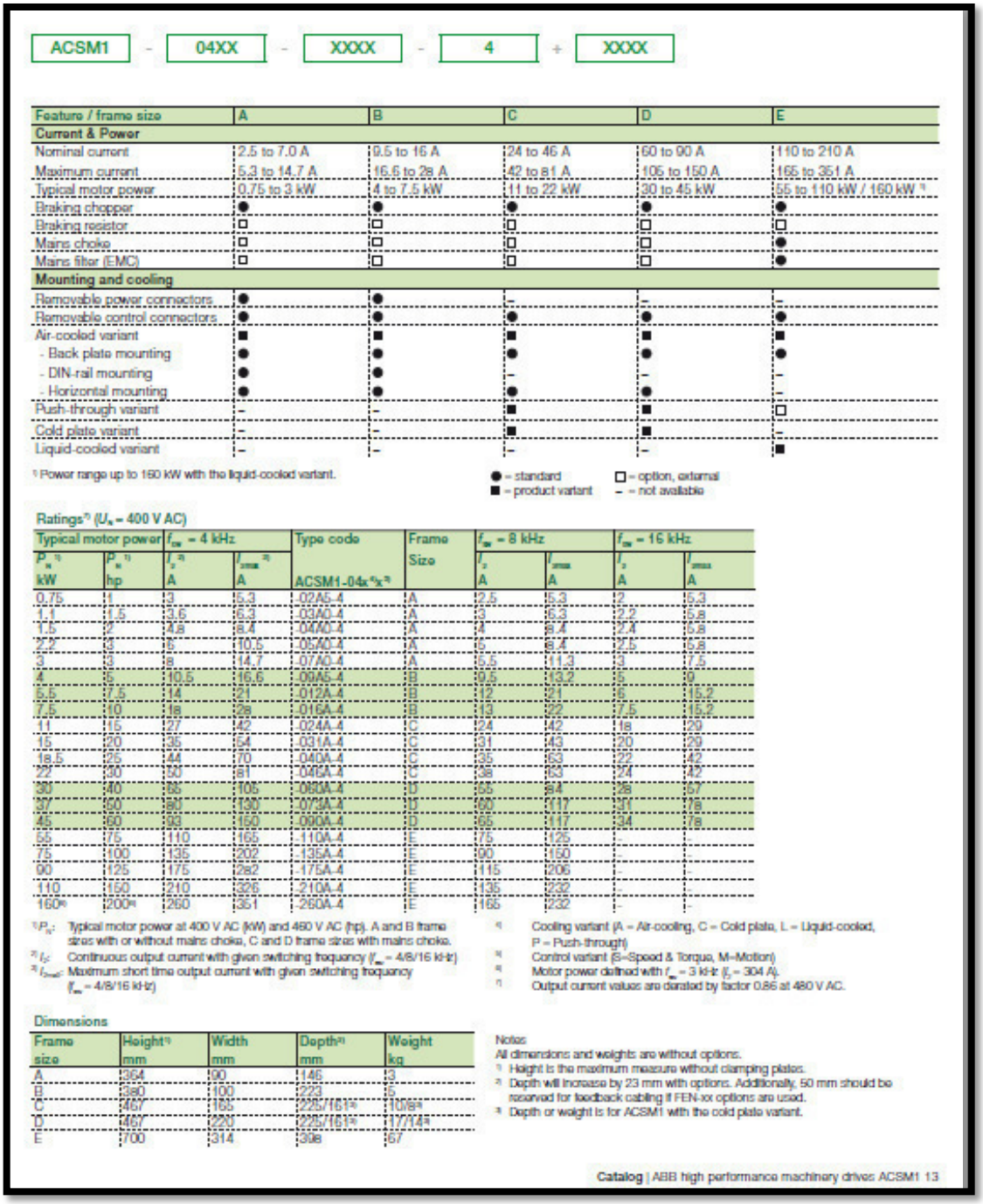
Technical data

ACSM1 - 04XX - XXXX - 4 + XXXX

Main connections	
Supply voltage	3-phase 380 to 480 V AC +10 /-15%
Frequency	50 to 60 Hz +/- 5%
Total harmonic distortion (THD)	With mains choke to meet limits acc. to EN 61000-3-2, IEC 61000-3-12, IEC 61000-3-4.
DC connection	
DC voltage level	485 to 648 V DC ± 10 %
Charging circuit	Internal, A to D frames / External, E frame
Common DC	See Engineering Manual
Motor connection	
Motor types	Asynchronous motors (standard induction, servo) and synchronous motors (servo, high torque)
Output frequency	0 to 500 Hz
Switching frequency (f_{sw})	1 to 16 kHz, 4 kHz as default. Output current derating above 4 kHz
Braking power connection	
Braking chopper	As standard in all types
Braking resistor	External resistor connected to drive

Operating conditions	
Degree of protection	IP20 acc. to EN 60529; Open Type acc. to UL 508.
Ambient temperature	-10 to +55 °C, derating above 40 °C
Installation altitude	0 to 4000 m, derating above 1000 m
Relative humidity	max. 95%
Climatic/environmental conditions	Class 3K3, 3C2 acc. to EN 60721-3-3. Oil mist, formation of ice, moisture condensation, water drops, water spray, water splashes and water jets are not permissible (EN 60204, Part 1).
Vibration	Class 3M4 acc. to EN 60721-3-3
EMC (According to EN 61800-3)	With mains filter: Category C2
Functional safety	Safe torque-off function (STO acc. EN 61800-5-2). IEC 61508: SIL 3 EN 954-1: Category 4 IEC 62061: SILCL 3 EN ISO 13849-1: PL e Certified by TÜV
Compliance	CE, UL, cUL, CSA, C-Tick, GOST R

Apéndice D. Ficha técnica variadores ABB



ACSM1 - 04XX - XXXX - 4 + XXXX

Feature / frame size	A	B	C	D	E
Current & Power					
Nominal current	2.5 to 7.0 A	9.5 to 16 A	24 to 46 A	60 to 90 A	110 to 210 A
Maximum current	5.3 to 14.7 A	16.6 to 28 A	42 to 81 A	105 to 150 A	165 to 351 A
Typical motor power	0.75 to 3 kW	4 to 7.5 kW	11 to 22 kW	30 to 45 kW	55 to 110 kW / 160 kW [1]
Braking chopper	●	●	●	●	●
Braking resistor	□	□	□	□	□
Mains choke	□	□	□	□	●
Mains filter (EMC)	□	□	□	□	●
Mounting and cooling					
Removable power connectors	●	●	-	-	-
Removable control connectors	●	●	●	●	●
Air-cooled variant	■	■	■	■	■
- Back plate mounting	●	●	●	●	●
- DIN-rail mounting	●	●	-	-	-
- Horizontal mounting	●	●	●	●	-
Push-through variant	-	-	■	■	□
Cold plate variant	-	-	■	■	-
Liquid-cooled variant	-	-	-	-	■

[1] Power range up to 160 kW with the liquid-cooled variant.

● = standard □ = option, external
■ = product variant - = not available

Ratings[3] (U_N = 400 V AC)

Typical motor power		f_{sw} = 4 kHz		Type code	Frame Size	f_{sw} = 8 kHz		f_{sw} = 16 kHz	
P_N [1] kW	P_N [1] hp	I_2 [2] A	I_{2max} [2] A	ACSM1-04x[4]x[5]		I_2 A	I_{2max} A	I_2 A	I_{2max} A
0.75	1	3	5.3	-02A5-4	A	2.5	5.3	2	5.3
1.1	1.5	3.6	6.3	-03A0-4	A	3	6.3	2.2	5.8
1.5	2	4.8	8.4	-04A0-4	A	4	8.4	2.4	5.8
2.2	3	6	10.5	-05A0-4	A	5	8.4	3.6	5.8
3	3	8	14.7	-07A0-4	A	5.5	11.3	3	7.5
4	5	10.5	16.6	-09A5-4	B	9.5	13.2	5	9
5.5	7.5	14	21	-012A-4	B	12	21	6	15.2
7.5	10	18	28	-016A-4	B	16	22	7.6	15.2
11	15	27	42	-024A-4	C	24	42	18	20
15	20	35	54	-031A-4	C	31	43	20	29
18.5	25	44	70	-040A-4	C	35	63	22	42
22	30	50	81	-046A-4	C	38	63	24	42
30	40	65	105	-060A-4	D	55	84	28	57
37	50	84	136	-073A-4	D	66	117	31	78
45	60	93	150	-090A-4	D	86	117	34	78
55	75	110	165	-110A-4	E	75	125	-	-
75	100	135	202	-135A-4	E	90	150	-	-
90	125	175	262	-175A-4	E	115	206	-	-
110	150	210	326	-210A-4	E	135	232	-	-
160[6]	200[6]	260	351	-260A-4	E	165	232	-	-

[1] P_N: Typical motor power at 400 V AC (kW) and 460 V AC (hp). A and B frame sizes with or without mains choke, C and D frame sizes with mains choke.
[2] I_2: Continuous output current with given switching frequency (f_{sw} = 4/8/16 kHz)
[3] I_{2max}: Maximum short time output current with given switching frequency (f_{sw} = 4/8/16 kHz)
[4] Cooling variant (A = Air-cooling, C = Cold plate, L = Liquid-cooled, P = Push-through)
[5] Control variant (S=Speed & Torque, M=Motion)
[6] Motor power defined with f_{sw} = 3 kHz (I_2 = 304 A).
[7] Output current values are derated by factor 0.86 at 480 V AC.

Dimensions

Frame size	Height[1] mm	Width mm	Depth[2] mm	Weight kg
A	364	90	146	3
B	380	100	223	5
C	467	165	225/161[3]	10/8[3]
D	467	220	225/161[3]	17/14[3]
E	700	314	308	67

Notes:
All dimensions and weights are without options.
[1] Height is the maximum measure without clamping plates.
[2] Depth will increase by 23 mm with options. Additionally, 50 mm should be reserved for feedback cabling if FEN-xx options are used.
[3] Depth or weight is for ACSM1 with the cold plate variant.

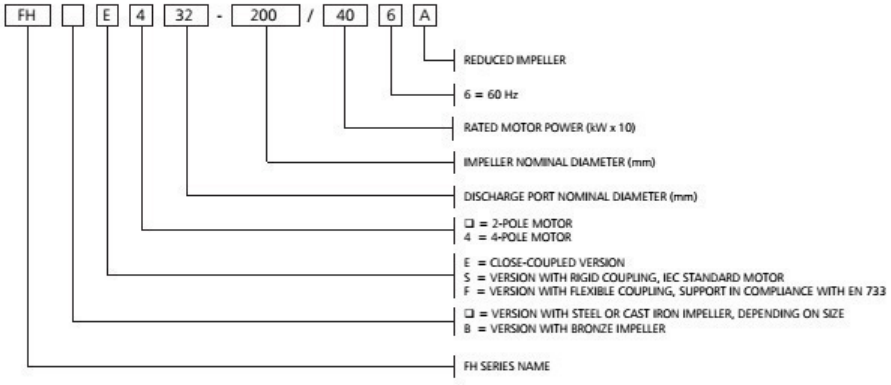
Catalog | ABB high performance machinery drives ACSM1 13

Apéndice E. Ficha técnica variadores ABB

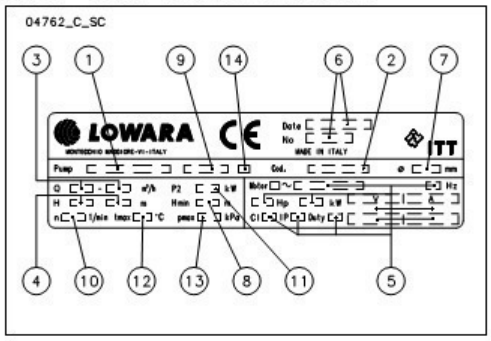
ITT

Lowara

FH SERIES
IDENTIFICATION CODE



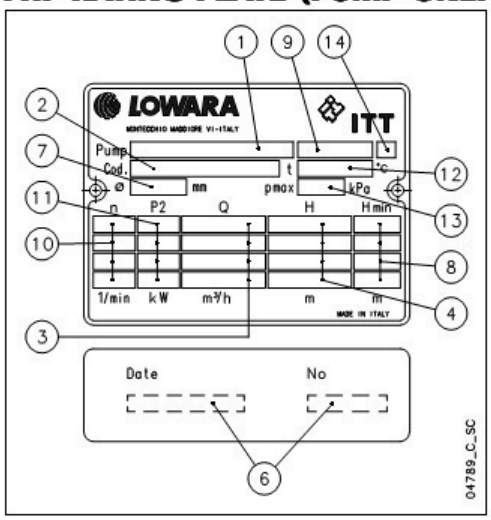
FHE - FHS RATING PLATE



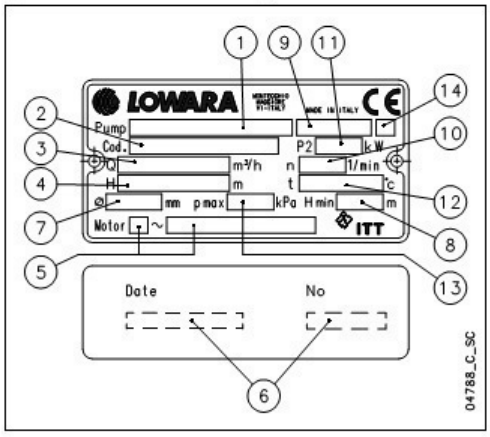
LEGEND

1 - Electric pump type
2 - Code
3 - Delivery range
4 - Head range
5 - Motor type
6 - Date of manufacturing and serial number
7 - Impeller diameter
8 - Minimum head
9 - Mechanical seal material identification code
10 - Speed
11 - Rated power
12 - Maximum operating temperature
13 - Maximum operating pressure
14 - O-ring material identification code

FHF RATING PLATE (PUMP ONLY)



FHF RATING PLATE (ELECTRIC PUMP)



Apéndice F. Catálogo de bomba de LOWARA (LOWARA)

ITT

Lowara

FHE SERIES
THREE-PHASE 60 Hz, 4-POLE MOTORS

MOTOR TYPE			INPUT CURRENT IN (A) THREE-PHASE		DATA FOR 380V 60Hz					
kW	IEC SIZE*	CONSTRUCTION DESIGN	Δ 220 V	Y 380 V	min^{-1}	Is / In	η %	cosφ	Tn Nm	Ts/Tn**
0,25	71	B5	1,51	0,87	1650	3,45	64,8	0,68	1,45	2,37
0,37	71	B5	2,18	1,26	1630	3,52	65,5	0,68	2,17	2,65
0,55	90R	B14	2,74	1,58	1650	3,55	68,9	0,77	3,18	1,80
0,75	90R	B5	3,62	2,09	1655	3,92	71,8	0,76	4,32	2,09
1,1	90	B5	4,43	2,56	1715	4,86	82,5	0,79	6,11	1,53
1,5	90	B5	6,01	3,47	1730	5,85	84,2	0,78	8,27	1,95
2,2	100	B5	8,05	4,65	1725	5,69	85,6	0,84	12,2	1,91
3	100	B5	11,1	6,43	1740	6,36	88,0	0,81	16,5	2,29
4	112	B5	14,3	8,24	1735	6,35	88,4	0,84	22,0	2,10
5,5	132	B14	19,7	11,4	1740	5,55	89,1	0,82	30,1	1,95
7,5	132	B14	26,5	15,3	1740	5,90	89,6	0,83	41,1	2,07

* R =Reduced size of motor casing as compared to shaft extension and flange.

fh-fhe4-mott-4p60-en_b_te

** Ts/Tn = ratio between starting torque and nominal torque.

FHS-FHF SERIES
THREE-PHASE 60 Hz, 4-POLE MOTORS

MOTOR TYPE				INPUT CURRENT IN (A) THREE-PHASE		DATA FOR 380V 60Hz					
kW	IEC SIZE	CONSTRUCTION DESIGN FHS4	FHF4	Δ 220 V	Y 380 V	min^{-1}	Is / In	η %	cosφ	Tn Nm	Ts/Tn**
0,25	71	-	B3	1,51	0,87	1650	3,45	64,8	0,68	1,45	2,37
0,37	71	-	B3	2,18	1,26	1630	3,52	65,5	0,68	2,17	2,65
0,55	80	B5	B3	2,74	1,58	1650	3,55	68,9	0,77	3,18	1,80
0,75	80	B5	B3	3,62	2,09	1655	3,92	71,8	0,76	4,32	2,09
1,1	90	B5	B3	4,43	2,56	1715	4,86	82,5	0,79	6,11	1,53
1,5	90	B5	B3	6,01	3,47	1730	5,85	84,2	0,78	8,27	1,95
2,2	100	B5	B3	8,05	4,65	1725	5,69	85,6	0,84	12,2	1,91
3	100	B5	B3	11,1	6,43	1740	6,36	88,0	0,81	16,5	2,29
4	112	B5	B3	14,3	8,24	1735	6,35	88,4	0,84	22,0	2,10
5,5	132	B5	B3	19,7	11,4	1740	5,55	89,1	0,82	30,1	1,95
7,5	132	B5	B3	26,5	15,3	1740	5,90	89,6	0,83	41,1	2,07
11	160	B5	B3	41	21,1	1755	5,5	91,1	0,87	59,8	1,71
15	160	B5	B3	54	28,6	1765	6,93	92,7	0,86	81,2	2,22
18,5	180	B5	B3	67	39	1758	4,9	90,2	0,80	95	1,8
22	180	B5	B3	76	44	1758	4,7	90,8	0,83	119	1,8
30	200	B5	B3	105	61	1758	5,2	91,6	0,82	154	1,9
37	225	-	B3	123	72	1764	4,9	93,1	0,85	200	1,7
45	225	-	B3	145	84	1770	4,9	93,4	0,87	242	1,8
55	250	-	B3	176	102	1770	5,1	93,7	0,88	281	1,8
75	280	-	B3	245	142	1776	5,3	93,7	0,86	402	1,9

** Ts/Tn = ratio between starting torque and nominal torque.

fh-fhs4-fhf4-mott-4p60-en_b_te

Apéndice G. Tabla de las características de las Bombas seleccionada.

UNAPEC
UNIVERSIDAD APEC

2111.
30 de enero de 2018

Lic. Opinio Álvarez Betancourt
Presidente

Lic. Fernando Langa Ferreira
Vicepresidente

Lic. Pilar Haché
Tesorera

Dra. Cristina Aguiar
Secretaria

Lic. Álvaro Sousa Sevilla
Miembro

Lic. Peter A. Croes
Miembro

Lic. Isabel Morillo
Miembro

Lic. Euclides Reyes
Miembro

Lic. Ricardo Koenig
Miembro

Dr. Kai Schoenhals
Miembro

Lic. Justo Pedro Castellanos Khouri
Presidente de APEC

Lic. Roberto Leonel Rodríguez Estrella
Pasado Presidente

Dr. Franklyn Holguín Haché
Rector

Señor(a)
Mario Aybar
Director Ejecutivo
Patronato Acuático Centro Olímpico Juan Pablo Duarte
Sto. Domingo, República Dominicana

Distinguido señor(a):

Nos permitimos presentarle a los estudiantes **Juan Terrero** matrícula **20130450**, **Jaime Álvarez** matrícula **20131074** y **Erik Herrera** matrícula **20141668**, de la carrera Ingeniería Eléctrica de esta Universidad, los cuales están cursando su trabajo de grado titulado **"Propuesta de implementación de un sistema de bombeo solar en las piscinas del Centro Olímpico, Santo Domingo República Dominicana, 2018."**, cuatrimestre enero-abril 2018.

Solicitamos su apreciada colaboración y apoyo para que los estudiantes puedan obtener las informaciones correspondientes al tema mencionado anteriormente.

El día y hora de la visita será acordada en función de su disponibilidad.

Agradeciendo su atención, le saluda.

Atentamente,

Ing. Yrvin Rivera
Director
Escuela de Ingeniería

809-686-0021 ext. 3224, 2339

Teléfono: 809-686-0021
Fax: 809-287-5702
Av. Máximo Gómez # 72
www.unapec.edu.do
Apartado postal 2867
Santo Domingo, R.D.

RNC 401-005107

1/02/18

Patronato Centro Olímpico Acuático Juan Pablo Duarte

ACBSP ACCREDITED
1ra Universidad Dominicana ACREDITADA POR LA ACBSP 8 PROGRAMAS DE NEGOCIOS

Apéndice H. Solicitud colaboración patronato acuático del Centro Olímpico

Sto. Domingo, 31 de Enero de 2018

Sr. Mario Aybar
Director Ejecutivo
Patronato Acuático Centro Olímpico Juan Pablo Duarte
Sto. Domingo, República Dominicana

Apreciado Sr. Aybar,

Por medio de la presente, hacemos de su conocimiento que nos encontramos desarrollando el trabajo de grado que nos permitirá cerrar nuestro ciclo en la carrera de ingeniería eléctrica, siendo nuestro tema "Propuesta de implementación de un sistema de bombeo solar en las piscinas del Centro Olímpico, Sto. Domingo, República Dominicana, 2018".

En este sentido, nos es de vital importancia el poder recolectar información que nos ayudará en el desarrollo de este proyecto final y del cual resultará un estudio para la implementación de un sistema alternativo para proveer de energía a las bombas que se utilizan para la recirculación del agua de las piscinas olímpicas. Los beneficios de este proyecto son un ahorro significativo en el consumo eléctrico y una mayor independencia de la distribuidora eléctrica, mientras se reduce la huella de carbono de la institución.

Con la finalidad de proceder con nuestro trabajo de grado, sometemos a solicitud los siguientes requerimientos:

- Acceso a las instalaciones de las piscinas olímpicas del Centro Olímpico, especialmente a:
  - Cuarto de máquinas o bombas.
  - Piscinas olímpicas.
  - Cuadros eléctricos.
- Planos de planta de los edificios que pertenecen a las piscinas, incluyendo los techos de las gradas.
- Planos eléctricos del sistema que alimenta las bombas de las piscinas.
- Frecuencia de uso de las bombas de las piscinas.
- Factura del consumo eléctrico o en su caso precio de compra de la energía eléctrica RD$ por kWh/mes).

Si ustedes lo desean, y una vez tengamos el trabajo terminado, podríamos enviarle una copia del mismo, en donde ustedes mismos podrían evaluar los resultados del estudio.

Atentamente,

JAIME ÁLVAREZ CASTILLO
Matrícula 2013-1074
Estudiante Ingeniería Eléctrica

Patronato Comité Acuático Centro Olímpico Juan Pablo Duarte

01/02/18
5:00 pm

Apéndice I. Solicitud colaboración patronato acuático del Centro Olímpico2

UNAPEC
UNIVERSIDAD APEC

Lic. Opinio Álvarez Betancourt
Presidente

Lic. Fernando Langa Ferreira
Vicepresidente

Lic. Pilar Haché
Tesorera

Dra. Cristina Aguiar
Secretaria

Lic. Álvaro Sousa Sevilla
Miembro

Lic. Peter A. Croes
Miembro

Lic. Isabel Morillo
Miembro

Lic. Euclides Reyes
Miembro

Lic. Ricardo Koenig
Miembro

Dr. Kai Schoenhals
Miembro

Lic. Justo Pedro Castellanos Khouri
Presidente de APEC

Lic. Roberto Leonel Rodriguez Estrella
Pasado Presidente

Dr. Franklyn Holguin Haché
Rector

Señor
Lic. Danilo Díaz Vizcaíno
Ministro del Ministerio de Deportes y Recreación
Santo Domingo, República Dominicana

En sus manos:

Nos permitimos presentarle a los estudiantes **Juan Terrero** matrícula 20130450, **Jaime Álvarez** matrícula 20131074 y **Erik Herrera** matrícula 20141668, de la carrera Ingeniería Eléctrica de esta Universidad, los cuales están cursando su trabajo de grado titulado "**Propuesta de implementación de un sistema de bombeo solar en las piscinas del Centro Olímpico, Santo Domingo República Dominicana, 2018"**, cuatrimestre Enero-Abril 2018.

Solicitamos su apreciada colaboración y apoyo para que los estudiantes puedan obtener las informaciones correspondientes al tema mencionado anteriormente.

El día y la hora de la visita será acordado en función de su disponibilidad.

Agradeciendo su atención, le saluda.

Ing. Yrvin Rivera
Director de la Escuela de Ingeniería

Teléfono: 809-686-0021
Fax: 809-267-5702
Av. Máximo Gómez # 72
www.unapec.edu.do
Apartado postal 2867
Santo Domingo, R.D.

RNC 401-005107

Apéndice J. Solicitud colaboración al Ministerio de Deportes

ITT

Lowara

FHE-2FHE-FHS-FHF SERIES
HYDRAULIC PERFORMANCE TABLE AT 60 Hz, 2 POLES

PUMP TYPE	RATED POWER		Q = DELIVERY																	
			l/min 0	100	200	300	400	500	600	800	900	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3500
			m³/h 0	6	12	18	24	30	36	48	54	60	75	90	105	120	135	150	165	210
	kW	HP	H =TOTAL HEAD METRES COLUMN OF WATER																	
32-125/116*	1,1	1,5	20,5		16,4	11,9	6,0													
32-160/156*	1,5	2	25,1		20,8	15,6	8,0													
32-160/226*	2,2	3	35,0		29,9	24,2	16,6													
32-200/306	3	4	45,6		37,5	30,3	20,8													
32-200/406	4	5,5	52,9		46,5	40,2	31,8	21,3												
32-250/556	5,5	7,5	76,9	74,6	68,9	58,9	44,6													
32-250/756	7,5	10	91,7	89,5	83,9	74,0	59,6													
40-125/156	1,5	2	17,0			15,5	13,8	11,5	8,7											
40-125/226	2,2	3	22,3			20,2	18,5	16,1	13,0											
40-160/306	3	4	30,0			28,4	26,6	23,9	20,3											
40-160/406	4	5,5	36,0			34,4	32,8	30,3	26,9	17,1										
40-200/556	5,5	7,5	44,9			41,9	40,2	37,7	34,0	21,8										
40-200/756	7,5	10	57,0			53,6	51,1	47,7	43,5	32,4										
40-250/**	**	**	60,2			56,9	54,9	52,3	48,9	39,4										
40-250/1106	11	15	69,2			65,2	63,0	60,1	56,5	46,8										
40-250/1506	15	20	84,9			81,4	79,2	76,4	72,9	63,9	58,2									
50-125/306	3	4	20,0						18,0	16,0	14,7	13,1	8,2							
50-125/406	4	5,5	25,0						23,0	20,9	19,6	18,0	13,1	7,5						
50-160/556	5,5	7,5	30,7						29,7	26,9	25,0	22,8	16,1							
50-160/756	7,5	10	38,5						36,9	34,1	32,3	30,1	23,7	15,6						
50-200/**	**	**	45,0						43,9	41,3	39,6	37,6	31,3							
50-200/1106	11	15	53,0						50,9	48,1	46,3	44,2	38,1	30,0						
50-250/1506	15	20	63,8						61,2	57,7	55,2	52,3	42,4							
50-250/1856	18,5	25	72,9						70,0	67,0	64,9	62,2	52,9	39,2						
50-250/2206	22	30	82,3						79,7	76,7	74,6	72,0	63,1	50,2						
65-125/556	5,5	7,5	22,9							21,3	20,8	20,2	18,3	15,9	13,2					
65-125/756	7,5	10	27,0							25,5	25,0	24,5	22,8	20,6	18,0	15,0				
65-160/**	**	**	33,5									30,8	28,9	26,4	23,2	19,3				
65-160/1106	11	15	37,8									35,4	33,6	31,3	28,3	24,7				
65-160/1506	15	20	45,3									43,3	41,9	39,9	37,3	33,9	29,7			
65-200/1856	18,5	25	50,1									51,7	49,8	47,3	44,1	40,0				
65-200/2206	22	30	56,2									57,4	55,5	53,1	50,0	46,2	41,6			
65-250/2206	22	30	64,7									61,6	58,4	54,2	49,1	43,1				
65-250/3006	30	40	79,2									77,7	75,0	71,3	66,5	60,7	53,8			
65-250/3706	37	50	92,8									91,9	89,4	86,0	81,7	76,3	70,0			
80-160/1506	15	20	28,3											31,8	30,8	29,4	27,6	25,6	23,5	
80-160/1856	18,5	25	34,3											38,1	37,2	36,0	34,3	32,3	30,0	
80-200/2206	22	30	44,0											47,4	45,8	43,7	41,1	38,1	34,9	
80-200/3006	30	40	52,9											57,7	56,5	54,7	52,4	49,7	46,7	36,2
80-250/3706	37	50	69,3											71,3	68,9	65,8	62,0	57,7	52,8	
80-250/4506	45	61	78,3											81,0	78,8	75,8	72,3	68,1	63,4	
80-250/5506	55	75	89,1											93,4	91,6	89,1	86,1	82,4	78,2	62,6

* Available single-phase motor version

fhe-fhs-fhf-2p60_a_th

** /926 = 9.2kW - 12.5HP in the FHE version ** /1106 = 11kW - 15HP in the FHS-FHF version

Performances according to ISO 9906 - Annex A

Apéndice K. Detalles de las Bombas Seleccionadas.

ANEXOS

edesur

Duplicado

VVA3MDU4MzU=
bXpvcnJpbGxhdA==

OFICINA: 1117 - NACO
AVDA TIRADENTES 1 , VALLAS
TELÉFONO: 563-1844
REFERENCIA DE PAGO: 6009308363-14
NCF A010010011500749948
FECHA DE EMISIÓN: 31/12/2017
CONDICIÓN FISCAL:
FECHA LÍMITE DE PAGO: 30/01/2018

MINISTERIO DE, DEPORTES
DIRECCIÓN:
AV. JONH F.KENNEDI 0 S/N
Finca: CENTRO OLIMPICO
REF.: EDIFICIO CEMEX FRENTE A HACHE **Ruta:** 91
Loc.: KENNEDY **Itiner.:** 0056
Sección: ZONA URBANA
Municipio: SANTO DOMINGO 94000237
Provincia: DISTRITO NACIONAL
Dirección Anterior:

NIS: 6009308
DIRECCIÓN DEL SUMINISTRO
CALLE ENRIQUE HENRIQUEZ 1 1A
LOC.: ENSANCHE NACO
REF.: FRENTE ASOCIACION DE BALONMANO

ENTIDAD
SEC EST DE DEPORTE MEDIA NA
RNC - CÉDULA:

NIC
6009308

DATOS DEL CONTRATO

TARIFA	VOLTAJE	POTENCIA CONTRATADA	PERÍODO DE FACTURACIÓN
MTD1	Alta 12,5 kV	117 kW	02/11/2017 - 02/12/2017 = 30 Dias

TIPO DE LECTURA	NO. DE CONTADOR	LECTURA ANTERIOR	LECTURA ACTUAL	MÚLTIPLO	CONSUMO
Activa A.T.	94000237	909	950	9600.0000	393,600 kWh
Potencia A.T.	94000237		0.159	9600.0000	1,526.400 kW
Reactiva A.T.	94000237	465	488	9600.0000	220800.0000 kVArh

CÁLCULO DE LA FACTURA

Cargo fijo 30 dias, RD$ 224.53	RD$	224.53
Energia 393600 kWh x RD$ 7.81	RD$	3,074,016.00
Recargo Factor de Potencia RD$ 3,074,016.00 x 3.00 %	RD$	92,220.48
Potencia maxima 1,852.80 kW x RD$ 485.98	RD$	900,423.74
Costo financiero por atraso de pago	RD$	3,397.79
Costo financiero por atraso de pago	RD$	4,361.48
Tasa reconexion	RD$	700.00

Cos φ: 0.87

Mes	Cons.	Pot
12/16	364800	603.200
01/17	336000	008.000
02/17	316800	420.800
03/17	316800	612.800
03/17	326400	248.000
05/17	316800	545.600
06/17	355200	545.600
07/17	384000	401.600
08/17	364800	641.600
09/17	403200	315.200
10/17	364800	872.000
11/17	432000	833.600
12/17	393600	526.400

IMPORTE TOTAL EN RD$ **4,075,344.02**

FECHA LÍMITE DE PAGO **30/01/2018**

NOTIFICACIONES
EVITE EL CORTE, PAGUE SU DEUDA Y SU FACTURA ACTUAL A TIEMPO.

DEUDA FACTURAS ANTERIORES RD$ 4,535,716.21

Duplicado

REFERENCIA DE PAGO 6009308363-14
FECHA LÍMITE DE PAGO **30/01/2018**

IMPORTE EN RD$ **4,075,344.02**

TITULAR DE CONTRATO
SEC EST DE DEPORTE MEDIA NA
DIRECCIÓN DEL SUMINISTRO
CALLE ENRIQUE HENRIQUEZ 1 1A
LOC.: ENSANCHE NACO
REF.: FRENTE ASOCIACION DE BALONMANO
TARIFA:
MTD1
Ruta: 91
Itiner.: 0056

UNIVERSIDAD ACCIÓN PRO EDUCACIÓN Y CULTURA (UNAPEC)

DECANATO DE INGENIERÍA E INFORMÁTICA

ANTEPROYECTO DE TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO: INGENIERO ELÉCTRICO MENCIÓN POTENCIA

TEMA:

Propuesta de implementación de un sistema de bombeo solar en las piscinas del Centro Olímpico, Sto. Domingo, República Dominicana, 2018.

SUSTENTANTES:

JUAN ARMANDO TERRERO SANTANA 2013-0450
JAIME ÁLVAREZ CASTILLO 2013-1074
ERIK MELQUIDES HERRERA VALDEZ 2014-1668

ASESOR:

Ing. Francisco del Rosario Sánchez

SANTO DOMINGO, D.N., REPÚBLICA DOMINICANA
03 NOVIEMBRE DE 2017

Propuesta de implementación de un sistema de bombeo solar en las piscinas del Centro Olímpico, Santo Domingo, República Dominicana, 2018.

CONTENIDO

Introducción 3

Justificación 5

Delimitación Del Tema En Tiempo Y Espacio 6

Planteamiento del Problema 6

Objetivos. 7
- General. 7
- Específico. 7

Marco Referencial 8
- Marco Teórico 8
- Marco Conceptual 11

Hipótesis 14

Marco Metodológico 15
- Tipo de Estudio 15
- Diseño de la Investigación 16
- Métodos de Investigación 16
- Técnicas de Investigación 16
- Tratamiento de la Información 17

Fuentes de Información 18

Esquema Preliminar del Trabajo de Grado 19

Introducción

Actualmente, la República Dominicana se encuentra en una encrucijada con todo lo relacionado a los servicios de suministro, generación y distribución de energía eléctrica. Las generadoras de electricidad y el gobierno entran en conflicto constantemente por el alto costo de la energía y por acuerdos que perjudican a unos y benefician a otros. Con todo esto, los usuarios son los más afectados por esta situación: interrupciones que se ejecutan por razones económicas, una calidad energética que en muchos casos no sólo es precaria sino que además es peligrosa para los equipos más sensibles y unas empresas distribuidoras que pese a realizar innumerables esfuerzos para generar una relación cercana con el cliente no llegan nunca a contar con la simpatía de sus usuarios.

En el caso de las empresas públicas esto es todavía más chocante, ya que a todo esto hay que agregarle la poca preocupación de los usuarios de los edificios públicos por el uso eficiente de la energía y la falta de transparencia de costos por edificio.

El Centro Olímpico “Juan Pablo Duarte”, recinto destinado a las actividades deportivas de diversas índoles, el cual es un punto de referencia para todos los dominicanos especialmente para los residentes en Santo Domingo. Este complejo deportivo fue inaugurado en el año 1974 con motivo de los XII Juegos Centroamericanos y del Caribe. De esta primera etapa se destaca la pista de atletismo, la piscina olímpica, el estadio de béisbol, entre otros. Para el año 2003, y con motivo de los Juegos Panamericanos, el centro recibe una serie de remodelaciones que se enfocan en incluir nuevos recintos dirigidos a disciplinas como el judo, el ajedrez y el boxeo.

Dicho centro consta de una área de piscinas las cuales son muy utilizadas y por tanto necesitan el cambio de sus aguas para el uso de las personas,

Por tal motivo en el presente documento se elabora una propuesta para la implementación de un sistema de bombeo solar para dichas piscinas, el cual reduce el consumo de energía eléctrica ya que las bombas funcionarían con energía renovable obtenida del sol.

Justificación

Los factores como alto costo de la energía y la baja calidad de este servicio, ha propiciado que muchas empresas tanto las privadas como las públicas, se hayan decantado por el uso de sistemas alternativos a la Red Eléctrica Nacional. Estos sistemas, no únicamente garantizan un suministro de energía a un bajo costo, sino que además en la mayoría de casos se basan en sistemas que parten de fuentes renovables, y como en los últimos años en el sector eléctrico dominicano se ha estado promoviendo la ley 57-07 sobre incentivos a energías renovables es necesario buscar soluciones y propuestas a problemas ya existentes con este tipo de energía.

En el caso del Centro Olímpico, tanto la calidad en el servicio eléctrico como el alto costo energético, empujan a la entidad a buscar un método alternativo y viable que pueda mantener la operación del sistema de recirculación de agua a un bajo costo monetario. Por esto hacemos la propuesta de mejorar el sistema ya existente con la implementación de paneles solares para alimentar las bombas, para así reducir el consumo proveniente de la red de distribución y aportar al uso de energías renovables. Dichos paneles captan la energía solar para poner en funcionamiento las bombas al momento de estas ser utilizadas, en caso contrario de que no se estén utilizando la energía aportada por los paneles solares será inyectada a la red del sistema eléctrico nacional interconectado (SENI).

El cuidado y mantenimiento del sistema de bombeo de una piscina es de vital importancia, ya que es la salud de esta, y por lo tanto de sus usuarios depende en gran medida del correcto funcionamiento de este sistema. Las bombas se encargan de recircular el agua de las piscinas por una serie de filtros para purificarla, evitando que las algas proliferen en el agua.

Este proceso requiere de una gran cantidad de energía eléctrica y durante una gran cantidad de horas a lo largo del día. Dada la baja calidad en el servicio eléctrico por parte de las distribuidoras, no se pueden garantizar la cantidad de horas necesarias para una correcta recirculación del agua. Además, el consumo eléctrico provocado por estas bombas incrementa de una manera considerable la factura eléctrica global del Centro Olímpico. La sustitución del sistema convencional de bombeo, por el sistema alternativo que funciona con paneles solares dotaría al centro olímpico de un sistema eficiente, económico y de una gran confiabilidad que garantizará una correcta recirculación del agua de las piscinas olímpicas en cualquier momento del año.

Delimitación Del Tema En Tiempo Y Espacio

La presente propuesta indica un estudio y análisis técnico de un sistema de bombeo solar para su implementación y factibilidad en el Centro Olímpico Juan Pablo Duarte, ubicado en el municipio Santo Domingo, Distrito Nacional, República Dominicana, la cual se llevará a cabo en enero del 2018.

Planteamiento del Problema

La dirección responsable de la gestión y la operación del parque olímpico tienen como misión garantizar la completa operación del recinto, para que de este modo todos los residentes en República Dominicana puedan disfrutar de un lugar único en el país para donde realizar diversas actividades deportivas al aire libre. Sin embargo, mantener este sistema activo acarrea una gran cantidad de costos, siendo uno de los más importantes el costo de mantenimiento de las piscinas olímpicas.

Como consecuencia de esta gran demanda de energía, la entidad gubernamental tiene que hacer frente a elevadas facturas eléctricas que no hacen más que agravar una situación ya de por sí fuera de control. Además, y debido a la irregularidad en el suministro eléctrico por parte de la distribuidora, el control del sistema de recirculación de agua se vuelve más complejo. Ante esta situación, se pone de manifiesto que se debe buscar una alternativa al esquema actual.

En la actualidad, las energías renovables han demostrado que pueden competir con las fuentes convencionales de energía, tanto en costo como en su desempeño, lo que la hace una alternativa totalmente viable. Además, estas representan una alternativa mucho más ecológica que armoniza totalmente con el espíritu del recinto.

Es debido a estos factores que se plantea la posibilidad de implementar un nuevo sistema de bombeo para la recirculación del agua de las piscinas alimentado por unos paneles solares fotovoltaicos, que proporcionarán la energía suficiente para mantener el agua en unas condiciones óptimas, con un costo menor al actual y totalmente amigable con el medioambiente.

Objetivos.

General.

Hacer un diseño y propuesta de un sistema de bombeo solar para las piscinas del Centro Olímpico Juan Pablo Duarte, de la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana, enero 2018.

Específico.

- Establecer las condiciones actuales del sistema de recirculación de agua de las piscinas, así como de la infraestructura general que sea necesaria para la implementación del sistema.
- Determinar el diseño idóneo acorde a las condiciones existentes.
- Determinar la factibilidad de alimentar sistema de Bombay con un sistema de generación fotovoltaico.

Marco Referencial

Marco Teórico

En los últimos años la utilización de energías renovables en los sistemas eléctricos de distintos países se ha ido incrementando, ya que este tipo de energía es la menos contaminante para el medio ambiente, la misma se da aprovechando los recursos de la naturaleza que son fuentes inagotables. Los cuales son; el sol, el viento y el agua, dichos recursos utilizados para la producción de energía solar, eólica e hidráulica respectivamente. Las plantas generadoras que utilizan estos tipos de energías como fuentes primarias no solo contribuyen con el medio ambiente, sino que también tienen un costo de producción inferior a las demás generadoras que utilizan combustibles fósiles como son el gas natural, el carbón, y los derivados del petróleo.

El tema de energías renovables ha provocado que los gobiernos en distintos países se involucren en el mismo, en la República Dominicana contamos con la ley de incentivos a energías renovables (Ley 57-07), la cual da a promover el uso de energías limpias en el país. Esto le resulta más económico para la producción de energía y así vender el KWH más barato, lo cual ayuda a la población y se puede extender más el sistema.

De lo mencionado anteriormente la utilización de energía solar ha ido tomando un puesto importante en el sector eléctrico, que se espera se siga desarrollando para abastecer la demanda eléctrica requerida por el sistema energético nacional interconectado (SENI) ya que al pasar del tiempo la población y consumo energético va creciendo al pasar de los años.

La posición que poseen ahora este tipo de tecnologías no ha estado exento de trabas. La más destacable de estas es que es una fuente no gestionable, es decir, que no podemos disponer de la fuente según nuestra necesidad sino dependiente de la disponibilidad. Sin embargo, esta circunstancia se puede paliar mediante el uso de sistemas de acumulación de energía, que trabajan de manera paralela a los sistemas fotovoltaicos.

Fuentes de energía.

Son aquellos recursos que se encuentran en la naturaleza de los cuales se pueden obtener energía.

Las fuentes de energía están divididas en dos grupos, las fuentes no renovables y las fuentes renovables, atendiendo al criterio reposición en la naturaleza estas están clasificadas de la siguiente forma.

Energías no Renovables

Las energías no renovables son aquellas fuentes de energía que están en la naturaleza en cantidad restringida, lo cual nos indica que si se llegara a consumir en su totalidad estas se agotarían, a estas fuentes de energía le corresponden los combustibles fósiles y los combustibles nucleares. La combustión de algunos materiales (petróleo gas natural y carbón) abastece a las personas una abundante cantidad de energía para resolver sus actividades tecnológicas. Tanto el carbón y el petróleo son los dos compuestos que más se han utilizado en los últimos tiempos ya que estos proporcionan una gran cantidad de energía en el proceso de la combustión.

Energías Renovables

Según la ley 57-07 sobre incentivos a energías renovables, se define como todas aquellas fuentes que son capaces de ser continuamente restablecidas después de algún aprovechamiento, sin alteraciones apreciables al medio ambiente o son tan abundantes para ser aprovechables durante milenios sin desgaste significativo.

Según el autor Roldán (2013) en su libro titulado Energías Renovables el mismo destaca que dentro de las energías renovables están los siguientes tipos de energías
principales:

Energía eólica
Energía fotovoltaica
Energía solar luminosa
Energía solar térmica
Energía hidráulica
Energía geotérmica
Energía Mareomotriz
Energías procedentes de la biomasa

Generación eléctrica

Un sistema eléctrico es un conjunto de elementos interconectados entre sí, el cual se divide en generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. Estos sistemas deben ser los más seguros y eficientes posibles. Cada componente de los sistemas conlleva una función específica en la estabilidad y buen funcionamiento del sistema. Inicialmente la energía eléctrica es generada en una estación generadora que transforma una fuente de energía primaria en energía eléctrica, estas fuentes de energía primaria pueden ser química (combustibles fósiles, nucleares, entre otros.), hidráulica, solar, geotérmica, etc. Debido a la naturaleza de las fuentes de energía antes mencionadas, estas tienen distintas formas de comportamiento al momento de ser convertidas en energía eléctrica, lo que implica complicaciones a la hora de lograr interconectar las estaciones generadoras dentro de un sistema que utilizan distintas fuentes de energía primaria.

Es posible clasificar las centrales eléctricas actuales en función de las materias primas utilizadas para la generación de la energía primaria:

Centrales hidroeléctricas

Centrales térmicas

Centrales nucleares

Centrales de energías renovables

Marco Conceptual

Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

Fuente: http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.php

Panel Solar

Un panel solar es un dispositivo para aprovechar la energía solar. También se le puede llamar módulo solar.

Se puede utilizar la denominación de panel solar tanto para la energía solar fotovoltaica como para la energía solar térmica. De este modo, un panel solar comprende los colectores solares y los paneles fotovoltaicos.

Fuente: https://solar-energia.net/definiciones/panel-solar.html

Bombeo Solar

Se define como un sistema de extracción o impulsión de agua utilizando únicamente energía solar. Sus principales componentes son:

- Generador Fotovoltaico (placa solar)
- Bomba y motor para bombear el agua requerida
- Regulador o Cuadro de Gestión Solar

Fuente: https://nergiza.com/bombeo-solar-que-es-es-rentable/

Frecuencia Eléctrica

Es una magnitud la cual contabiliza las repeticiones por unidad de tiempo de cualquier suceso periódico, para calcular esta magnitud se toman en cuenta un número de ocurrencias de este teniendo en cuenta un intervalo temporal, luego estas repeticiones se dividen por el tiempo transcurrido. La frecuencia se mide en hercios (Hz).

Fuente: https://ingenieriaelectronica.org/definicion-de-frecuencia-periodo-y-amplitud/

Potencia Eléctrica

Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia eléctrica se representa con la letra P y la unidad de medida es el Vatio (Watt).

Variador de Frecuencia

Un variador de frecuencia por definición es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del proceso.
Los variadores controlan la potencia de salida de una aplicación, como una bomba o un ventilador, mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior a la necesaria.

Fuente: https://www.ecured.cu/Potencia_el%C3%A9ctrica

Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI)

Es un conjunto de instalaciones de unidades eléctricas generadoras, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas y de líneas de distribución interconectadas entre sí, que permite generar, transportar y distribuir electricidad, bajo la programación de operaciones del Organismo Coordinador.

Fuente: Congreso de la República Dominicana. (26 de julio 2001) Ley General de Electricidad [Ley 125-01].

Corriente Eléctrica

De forma general, la corriente eléctrica es el flujo neto de carga eléctrica que circula de forma ordenada por un medio material conductor. Dicho medio material puede ser sólido, líquido o gaseoso y las cargas son transportadas por el movimiento de electrones o iones.

Fuente: https://www.fisicalab.com/apartado/movimiento-de-cargas#contenidos

Energía eléctrica

Es la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico.

Voltaje

Denominado también como tensión o diferencia de potencial es una magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito eléctrico cerrado, provocando el flujo de una corriente eléctrica.

Fuente: https://www.ecured.cu/Voltaje

Hipótesis

La sustitución del sistema actual de recirculación de agua instalado en las piscinas del centro olímpico por otro que base su fuente de energía en la radiación solar ayudará a economizar energía eléctrica y brindará una mayor autonomía.

A continuación, se especifican las diferentes variables que se contemplan para este trabajo:

Capacidad de las bombas.

- **Definición conceptual:** Es la potencia necesaria requerida en las bombas para garantizar la correcta recirculación del agua de las piscinas.

- **Indicadores:**
  - Potencia máxima de demanda.
  - Curvas características de la bomba.

Capacidad fotovoltaica instalada.

- **Definición conceptual:** Es la potencia fotovoltaica necesaria para satisfacer la energía requerida por la bomba.

- **Indicadores:**
  - Potencia máxima de entrega.

Costos del proyecto.

- **Definición conceptual:** Son todos los costos asociados a la implementación del sistema de bombeo solar.

- **Indicadores:**
  - Inversión total del proyecto, en dólares americanos.

Marco Metodológico

Tipo de Estudio

Nuestra propuesta presenta diferentes tipos de investigación debido al objecto estudios de la misma, como son:

Aplicada
Para dar una solución a la problemática del alto precio de la energía y la inestabilidad que presenta el sistema eléctrico Dominicano el Centro Acuático del Centro Olímpico de Santo Domingo se ve afectado.

De-acción
Debido a que se va a proponer un nuevo sistema de alimentación de energía para las bombas del centro Olímpico.

Ex post fact
Analizando el consumo histórico que ha generado el sistema ya instalado en centro olímpico.

De campo
Se realizará un levantamiento de la infraestructura existente del sistema de bombeo y dimensionar el lugar de interés.

Descriptiva
Se presentará un estudio de los elementos existentes y como esto son compatible con el sistema propuesto.

Diseño de la Investigación

El levantamiento nos proporcionará datos que serán relevantes para realizar un estudio cuantitativo para poder diseñar nuestra propuesta, de igual modo esta investigación de campo nos dará el suficiente criterio para realizar un análisis descriptivo de la situación existente en nuestro lugar de de referencia. La investigación descriptiva es la que se utiliza, tal como el nombre lo dice, para describir la realidad de situaciones, eventos, personas, grupos o comunidades que se estén abordando y que se pretenda analizar.

Métodos de Investigación

Nuestra propuesta por el tipo de tecnología que utiliza necesita diferente metodología de investigación para el óptimo rendimiento del sistema de bombeo solar, a través de una combinación entre una metodología de investigación inductiva y una analítica. La inducción analítica es un procedimiento para verificar teorías y proposiciones basadas en datos cualitativos.

Técnicas de Investigación

Las técnicas pertinentes para nuestro estudio a través de un levantamiento o recopilación de información de campo son las siguientes:

- Observación directa
- Observación de Participante
- Observación de Campo
- Observación de Equipos
- Check List
- Entrevistas

La técnica de campo permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonios que permitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad objetiva.

Tratamiento de la Información

La recopilación de los datos en el levantamiento se reducirán los datos, para facilitar la interpretación, se crearán tablas, para poder comprar mejor los datos, se crearon fichas técnicas de cada equipo y se realizaron bosquejo pertinente a los datos suministrado por la observación.

Fuentes de Información

Dra. Sención Raquel, Yvelice Zorob Avila. (2017). Guía elaboración anteproyecto del Trabajo Final de Grado (TFG) en la modalidad de Monografía Investigación . Distrito Nacional: UNAPEC.

"Historia del centro olímpico Juan Pablo Duarte.", http://www.colimdo.org/historias-del-deporte/historia-del-centro-olimpico-juan-pablo-duarte/
Fecha de acceso 15 Oct. 2017.

"Tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa - Noticias." 4 sep.. 2017, http://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html. Fecha de acceso 2 nov. 2017.

"Inducción nalítica." http://www.ujaen.es/investiga/tics_tfg/induccion_analitica.html. Fecha de acceso 2 nov.. 2017.

"Metodología De La Investigación: TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN." http://metodologia02.blogspot.com/p/tecnicas-de-la-investigacion.html. Fecha de acceso 2 nov.. 2017.

Lamigueiro, O. P. (2013). Energía solar fotovoltaica. Versión 1.22. Marzo 2011. https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Perpinan_Lamigueiro/publication/249012821_Energia_Solar_Fotovoltaica/links/02e7e51e80783f1d9f000000/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf

Berrú, R., & Utreras, S. (2009). Diseño y construcción de un sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica para el Laboratorio de Energías Renovables del DECEM (Bachelor's thesis, SANGOLQUÍ/ESPE/2009). repositorio.espe.edu.ec:8080/handle/21000/337

Ley número 57-07
http://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2015/05/REGLAMENTO-LEY-57-07.pdf

Las fuentes de Energía
http://www.edualter.org/material/consumo/energia4_1.htm

Esquema Preliminar del Trabajo de Grado

“Propuesta de implementación de un sistema de bombeo solar en las piscinas del Centro Olímpico, Sto. Domingo, República Dominicana, 2018.”

Portada

Índice

Dedicatoria y Agradecimientos

Resumen

Capítulo 1: Introducción

- 1.1 Justificación
- 1.2 Planteamiento del problema
- 1.3 Objetivos
- 1.4 Estructura del trabajo

Capítulo 2: Marco Teórico

Capítulo 3: Caso de estudio

Capítulo 4: Implementación

Capítulo 5: Estudio de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

(s.f.). Obtenido de colimdo.org: http://www.colimdo.org/historias-del-deporte/historia-del-centro-olimpico-juan-pablo-duarte/

ABB. (2006). *Using variable speed drives (VSDs) in pump applications.* Obtenido de http://electrical-engineering-portal.com/res/ABB-Application-Guide-Using-Variable-Speed-Drives-In-Pump_Applications.pdf

ABB. (2009). *El motor asíncrono trifásico.* Obtenido de https://library.e.abb.com/public/477b5b9a47443becc125791a003ab324/1TXA007106G0701_CT6.pdf

academiaedu. (s.f.). *Academia.edu*. Obtenido de www.academia.edu: http://www.academia.edu/9459503/HISTORIA_DEL_ORIGEN_Y_EVOLUCION_DE_LA_GENERACIÓN_Y_DISTRIBUCIÓN_DE_CORRIENTE_ELÉCTRICA

acciona.com. (2011). *acciona*. Obtenido de www.acciona.com: https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/

Almeida, A. T. (s.f.). *Controles de motores - Usos.* Obtenido de www.energia.gob.ec/: http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/k-Controles-de-motores-Usos.pdf

Arenales, J. C. (2013). MOTORES ELÉCTRICOS.

BASIC POOL CALCULATIONS. (2008). Obtenido de https://www.jocogov.org/sites/default/files/documents/DHE/ENV/spPoolCalcs.pdf

BUN-CA, P. (2018). *Manual técnico de motores electricos.* Obtenido de https://docgo.net/manual-tecnico-de-motores-electricos-1

Cano, X. B. (10 de Octubre de 2009). El Sol, nuestra estrella. *Revista Digital Universitaria*, págs. 1-17.

CNE. (2017). *CNE*. Obtenido de cne.gob.do: cne.gob.do/medicion-neta/

Cobo, R. (s.f.). *EL ABC DE LA AUTOMATIZACION .* Obtenido de DRIVES Convertidores de frecuencia (VDF): http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/DRIVES-variadores%20de%20velocidad%20.pdf

Comisión Nacional de Energia. (2011). Obtenido de www.cne.gob.do: http://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2016/06/Reglamento.Medicion.Neta_.pdf

Díaz, J. (10 de Febrero de 2014). Obtenido de elnacional.com.do: http://elnacional.com.do/federacion-de-natacion-abandonaria-patronato/

Didactic, F. (2011). *Hidráulica, nivel básico (TP 500) .* Obtenido de http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/551145_leseprobe_es.pdf

Ecored. (2017). Obtenido de ecored.org.do: http://www.ecored.org.do/raas-solar-instala-planta-fotovoltaica-para-sistema-de-bombeo-solar-mas-grande-en-republica-dominicana-y-centro-america/

elblogverde.com. (2016). Obtenido de elblogverde: https://elblogverde.com/energia-eolica/

ESPAÑA, M. G. (2010). CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE UN MOTOR Y CONTROLES . Guayaquil, Ecuador.

España, M. G. (27 de 5 de 2010). Criterios para la Selección de un Motor y Controles Eléctricos como Prevención de Riesgos en la Industria. Ecuador.

FARRÁS, L. E. (2005). SELECCIÓN FINA DE BOMBAS. BUENOS AIRES.

Fernández, J. H. (2016). MOTORES ELECTRICOS PARA LA INDUSTRIA.

Física de Fluidos. (2007). Lima, PERU: Lexus Editores S.A.

Flores, A. V. (18 de 06 de 2006). Manual de motores electricos tesina.

FOCER. (2002). *Manuales sobre energía renvable, Solar Fotovoltaica.* San José, Costa Rica: BUN-CA.

Foguet, A. P. (Abril de 2005). Abastecimiento de Agua y Saneamiento. CATALUNYA.

GPA. (2016). *Cálculos para Piscinas.* Obtenido de http://gpa.com.mx/wp-content/uploads/2016/01/Calculos.pdf

Herrera, E. (oho de h de oho). *afsfa*. Recuperado el oh de hoh de h, de k.

IDEAL, B. (2012). Datos Técnicos de Hidráulica Bombas. VALENCIA.

Ideal, B. (18 de Marzo de 2018). *http://www.bombasideal.com.* Obtenido de http://www.bombasideal.com/wp-content/uploads/catalogos/25-LIBRO%20HIDRAULICA%20[D-020714].pdf

Impulsión de Aguas Residuales: Bombas para la Impulsión de Aguas Residuales. (2003). Obtenido de https://moodle.institutmontilivi.cat/pluginfile.php/118007/mod_resource/content/1/clasificacion.PDF

Ingenierobeta. (18 de febrero de 2018). *Ingenierobeta*. Obtenido de http://ingenierobeta.com: http://ingenierobeta.com/historia-de-la-ingenieria-electrica/

Kripsol. (2015). CÓMO CALCULAR EL EQUIPO DE FILTRACIÓN MÁS ADECUADO PARA UNA PISCINA. Toledo.

Lamigueiro, O. P. (Enero 2012). *Energía Solar Fotovoltaica.* España: Creative Commons.

Lamigueiro, O. P. (s.f.). *Radiación Solar.*

López, A. (1997). Manual de hidráulica. Alicante.

Matienzo, B. (22 de Febrero de 2018). *Google Sites*. Obtenido de sites.google.com: https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico/2-7-eje

Monografias. (marzo de 2017). Obtenido de www.monografias.com: https://www.monografias.com/docs/Introduccion-a-la-electricidad-P3JJP95ZMY

NAVA., I. C. (2008). Sistemas de Control de Motores Eléctricos Industriales. VERACRUZ.

Neró, N. P. (17 de Julio de 2014). Obtenido de diariolibre.com: https://www.diariolibre.com/deportes/el-centro-olmpico-juan-pablo-duarte-original-cede-sus-espacios-DPDL704601

Noya, G. (2010). *Bombas y motores hidráulicos.*

Núñez, J. F. (2005). *Variador de frecuencia.* Obtenido de INACAP: http://archivos.diagramas.mx/otros/vARIADORES.pdf

Perez, A. (s.f.).

Rodríguez, J. M. (2015). *Guía técnica para la utilización de la energía solar fotovoltaica en instalaciones de abastecimiento de agua potable.* Zaragoza, España: Instituo aragonés del agua.

SALUD, O. M. (Diciembre de 1996). Bombas para agua potable. Washington, D.C. .

scribd. (2012). Obtenido de www.scribd.com: https://www.scribd.com/document/131285082/bobina-de-tesla-docx

tecnologia septimo. (2015). Obtenido de tecnologiaseptimorgh2015.blogspot.com: http://www.tecnologiaseptimorgh2015.blogspot.com

toledopiscinas. (s.f.). *Tratamiento del agua*. Obtenido de http://toledopiscinas.es/Construccion-piscinas/tratamiento-agua

Twenergy. (2012). *Twenergy*. Obtenido de twenergy.com: https://twenergy.com/a/la-historia-de-la-energia-electrica-521

UNATSABAR. (2005). Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable . Lima.

UNESA. (s.f.). *unesa.es*. Obtenido de www.unesa.es: http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1343-central-ciclo-combinado

UNIDO, e. (2015). *Bombas: desde la perspectiva del motor.* Obtenido de http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/13.-Bombas-desde-perspectiva-motores.pdf

Venteo, A. O. (20 de Octubre de 2006). Tratamiento físico del agua de piscinas. ANDALUCIA.

Viceministerio de servicios básicos, República de Bolicia. (2017). *Manual de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Agua por Bombeo.* La Paz: ABBASE LTDA.

WEG. (2005). SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS .

Wildi, T. (2007). *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia.*