



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA**

**CENTROAMERICANA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PRÁCTICA PROFESIONAL**

**ÁREA DE INGENIERÍA**

**QANAT INGENIERÍA S.L.**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN ENERGÍA**

**PRESENTADO POR:**

**11741009**

**FRANCISCO CHIRINOS**

**ASESOR METODOLÓGICO: ING. RAFAEL AGUILAR**

**CAMPUS TEGUCIGALPA; JUNIO, 2022**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por confiar en mi a lo largo de todo este camino, por inculcar mis valores y la fé, por su apoyo incondicional y sus consejos.

A mis abuelos, tíos, primos, hermanos, demás familiares y amigos por siempre estar ahí para mí.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Qanat Ingeniería por la oportunidad de poder realizar mi práctica profesional con ellos.

A mis compañeros de trabajo y mi jefe por cómo me recibieron y por todo lo que me enseñaron.

*Acepta tu realidad y comprenderás*

*la bondad y el amor de Dios.*

*-Kiko Arguello*

*La calidad sin resultados no tiene sentido.*

*Los resultados sin calidad son aburridos.*

*-Johan Cruyff*

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento contiene información acerca de los proyectos, actividades realizadas durante la práctica profesional en León, España en la empresa Qanat Ingeniería, dentro del departamento de Ingeniería. Dicho departamento se encarga de los estudios y desarrollos de centrales hidroeléctricas, proyectos fotovoltaicos, ingeniería del agua, transportes, entre otros. En este departamento trabajan varios ingenieros de diferentes especialidades para realizar las consultorías con diferentes puntos de vistas en cada uno de sus ámbitos.

Constantemente realizando proyectos en etapa de prefactibilidad, factibilidad y algunos en desarrollo. Básicamente se presentan propuestas a un cliente que esté interesado en la producción de energía renovable, dentro de las propuestas se presenta un análisis de ingeniería, por ejemplo, el cálculo de potencias, perdidas, producción estimada. Así mismo, en la etapa de Prefactibilidad se presentan un análisis económico general, ya en la etapa de factibilidad se presentan los costos, inversión y todo el análisis económico más específico.

Además, se realizaron visitas técnicas en diferentes zonas de España en la zona norte, así como, en la zona sur. Se visitaron plantas hidroeléctricas en la zona de Asturias, para verificar el estado de estas. Así mismo, se realizó una visita a una planta fotovoltaica en Puente Genil, donde se hizo un recorrido por toda la planta y se mostraron todos los equipos utilizados.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>GENERALIDADES DE LA EMPRESA</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</b> .....	<b>2</b>
2.1.1	Historia .....	3
2.1.2	Misión .....	3
2.1.3	Visión .....	4
<b>2.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO</b> .....	<b>4</b>
2.2.1	Centrales Hidroeléctricas .....	5
2.2.2	Fotovoltaica .....	5
2.2.3	Ingeniería del Agua.....	5
<b>2.3</b>	<b>OBJETIVOS DE PUESTO</b> .....	<b>6</b>
2.3.1	Objetivo general.....	6
2.3.2	Objetivos específicos .....	6
<b>III.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>ENERGÍA HIDRÁULICA</b> .....	<b>7</b>
3.1.1	Situación Actual en España .....	7
3.1.1.2	<i>Impactos de la Energía Hidráulica</i> .....	8
<b>3.2</b>	<b>TECNOLOGÍA Y APLICACIONES</b> .....	<b>8</b>
3.2.1	Características de la Energía Hidroeléctrica .....	8
3.2.2	Tipo de Minicentrales Hidroeléctricas .....	9
3.2.3	Diseño de un Aprovechamiento Hidroeléctrico .....	10
3.2.4	Equipamiento Electromecánico .....	13
<b>3.3</b>	<b>FACTORES ECONÓMICOS</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>ENERGÍA FOTOVOLTAICA</b> .....	<b>19</b>
3.4.1	Situación Actual en España.....	19
<b>3.5</b>	<b>TECNOLOGIA Y APLICACIONES</b> .....	<b>19</b>
3.5.1	Características de la Energía Fotovoltaica.....	19
3.5.2	Equipo Fotovoltaico .....	20
3.5.3	Diseño de un Aprovechamiento Fotovoltaico .....	21
<b>3.6</b>	<b>FACTORES ECONÓMICOS</b> .....	<b>24</b>
<b>IV.</b>	<b>DESARROLLO</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLADO</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b> .....	<b>26</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>27</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>28</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>29</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>30</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Logo Qanat Ingeniería	2
Ilustración 2 Organigrama Qanat	4
Ilustración 3 Potencia Hidroeléctrica Acumulada en España	7
Ilustración 4 Proceso de una Central Hidroeléctrica	9
Ilustración 5 Central de Agua Fluyente	10
Ilustración 6 Curva de Caudales Clasificados	11
Ilustración 7 Diagrama Salto Neto	12
Ilustración 8 Curva de Eficiencia Pelton	14
Ilustración 9 Curva de Eficiencia Francis	15
Ilustración 10 Curva de Eficiencia Kaplan	16
Ilustración 11 Rango de Utilización de diferentes Turbinas	17
Ilustración 12 Potencia eléctrica instalada de solar fotovoltaica en MW	19
Ilustración 13 Energía Solar Térmica	20
Ilustración 14 Modulo Fovovoltaico 275Wp	21
Ilustración 15 Representación ángulo azimut	22
Ilustración 16 Diagrama Distancias mínimas	23

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Fórmula cálculo de Pérdidas	13
Ecuación 2 Fórmula Cálculo de Potencia	13
Ecuación 3 Cálculos periodo de Retorno Hidroeléctrica	18
Ecuación 4 Inclinación óptima paneles	22
Ecuación 5 Cálculo de Distancia mínimas	23
Ecuación 6 Distancia entre los extremos inferiores	23

## LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

CC	Corriente Continua
CA	Corriente Alterna
PR	Performance Ratio o Rendimiento energético de la instalación
$\alpha$	Azimut
$\beta$	Ángulo de inclinación
Hb	Salto Bruto
Hu	Salto útil
Hn	Salto Neto
LCOE	Levelized Cost of Energy
$\theta$	Latitud

## I. INTRODUCCIÓN

A medida que el tiempo pasa aumenta la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía a bajo costo y con menor impacto ambiental. Las energías renovables han tenido gran protagonismo desde los últimos años dentro de diferentes mercados y países. Gracias a estas nuevas oportunidades en el mercado energético han surgido diferentes empresas que ayudan a cumplir con la demanda energética, así mismo, empresas consultoras que apoyan al desarrollo y operación de diferentes proyectos renovables.

En el siguiente informe el lector observará diferentes actividades a realizar durante la práctica profesional en la empresa Qanat Ingeniería S.L en el departamento de ingeniería. A lo largo de la práctica profesional, se estudiarán todos los aspectos y el desarrollo que se deben realizar y tomar en cuenta para la puesta en marcha de proyectos hidráulicos en etapa de prefactibilidad para luego poder seguir avanzando. Se calcularán las potencias y se evaluará los equipos necesarios dependiendo de la zona y el estudio hidrológico que es proporcionado. Así mismo, se analizará todo el cuadro de presupuesto, costes de inversión, ganancias y tiempo de retorno. Adicionalmente, se realizarán estudio para el campo fotovoltaico, cálculo de potencias, equipo a utilizar presupuestos y otras actividades.

A través de este informe el lector podrá observar de manera detallada lo siguiente: una descripción de donde se realizará la práctica, el departamento donde se realizarán la mayoría de las actividades, así mismo, los objetivos que se planean cumplir y para un mejor entendimiento de todos los conceptos que abarca la práctica el lector podrá observar un marco teórico que describe principalmente el área de la energía hidráulica, así como, la energía fotovoltaica. Además, se presenta un cronograma de actividades donde se detallará el desarrollo de toda la práctica. Finalmente, se colocan las conclusiones obtenidas y las recomendaciones propuestas.

## **II. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

QANAT Ingeniería es una empresa consultora de Ingeniería Civil y Energías Renovables. Gracias al aporte de su experimentado equipo, son especialistas en Ingeniería del Agua, Centrales Hidroeléctricas, Energías Renovables e Ingeniería del Transporte y Urbanismo. Desarrollan trabajos de consultoría, desarrollo de proyectos y de dirección y supervisión de obras.

La sede principal se ubica en Madrid, y delegaciones en León (España) y Guatemala. Desarrollan proyectos para España, Colombia, Ecuador, Guatemala, El Salvador, Perú, México y Costa Rica.



**Ilustración 1 Logo Qanat Ingeniería**

Fuente: (Qanat, 2021)

### 2.1.1 Historia

Qanat Ingeniería es una empresa consultora de Ingeniería Civil y energías renovables con oficinas centrales en Madrid. Se especializan en Ingeniería del Agua, Centrales Hidroeléctricas, Energías Renovables e Ingeniería del Transporte y Urbanismo. Realizan trabajos de consultoría y de dirección y supervisión de obras. Han desarrollado contratos en España, Colombia, Ecuador, Guatemala, El Salvador, Perú, México y Costa Rica. Sus clientes son diversas instituciones públicas, fondos de inversión y generadores de energía, empresas constructoras y otras empresas de ingeniería. La elevada valoración que los clientes realizan del trabajo y su confianza continua es su principal orgullo. Tomaron su nombre de la ingeniosa solución persa de ingeniería hidráulica que, desde hace 3.000 años, permite la captación regular y la conducción de agua en terrenos áridos a largas distancias (hasta decenas de km).

### 2.1.2 Misión

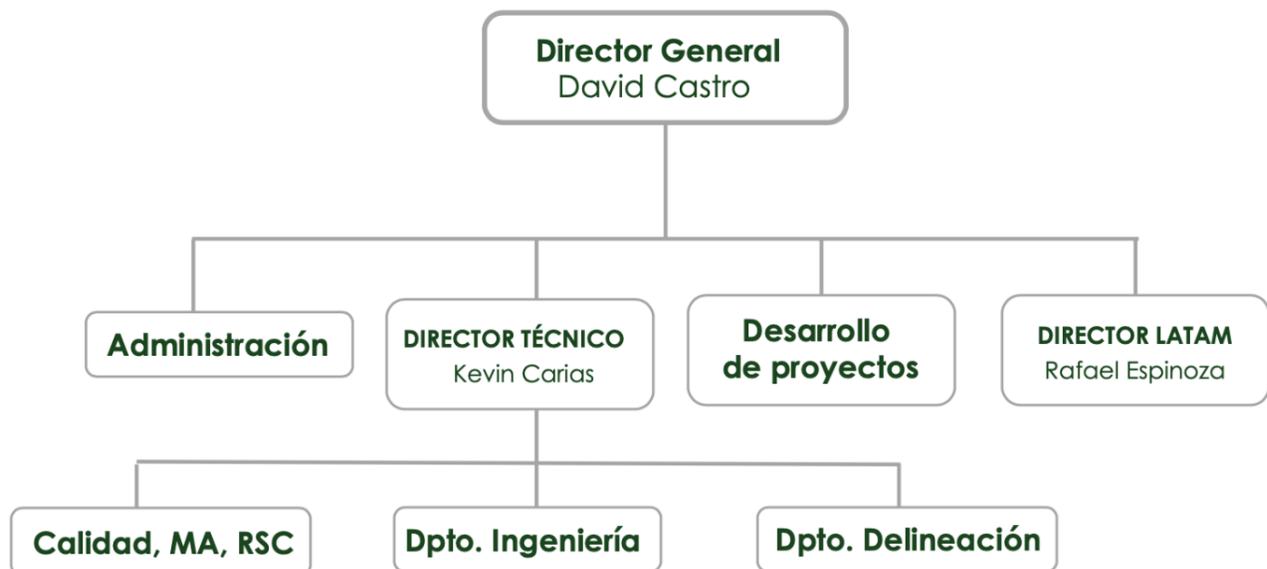
Nos comprometemos a cumplir las leyes, normativas, o cualquier tipo de reglamentación para la Protección del Medio Ambiente en relación con las actividades llevadas a cabo por nuestra organización. QANAT INGENIERÍA es una empresa con amplia experiencia, por lo que cuenta con un importante Know How en consecución de proyectos y servicios de ingeniería y dirección de obra que combina con los mejores técnicos, medios materiales, proveedores y técnicas de trabajo. Nos comprometemos a mejorar continuamente la eficacia del Sistema Integrado fomentando las relaciones con el cliente. La empresa mantiene una eficaz comunicación con el cliente con el fin de conocer sus requisitos a la hora de asesorarle, así como de proporcionar sus servicios con practicidad y rapidez. Existe un compromiso de evaluar los aspectos ambientales generados por nuestra actividad, con el fin de minimizar los impactos sobre el medio ambiente en la medida de lo posible y prevenir la contaminación. Todos nuestros objetivos y metas fijadas relacionados con la calidad y medio ambiente serán continuamente revisados.

### 2.1.3 Visión

QANAT INGENIERÍA S.L es consciente de la importancia de ofrecer la mejor calidad en sus servicios de consultoría técnica en los sectores de Ingeniería Civil y Energías Renovables: Redacción de Proyectos y Estudios de Seguridad y Salud. Servicios de Asistencia Técnica en obras de los sectores de Ingeniería Civil y Energías Renovables: Direcciones de Obra y Coordinación de Seguridad y Salud, así como la importancia del respeto y cuidado del medio ambiente. Para ello destina los recursos necesarios para ofrecer un servicio con todas las garantías de éxito y cuidado medioambiental.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO

El organigrama de la empresa está dividido de la siguiente forma:



**Ilustración 2 Organigrama Qanat**

Fuente: (Qanat,2021)

El departamento de Ingeniería es el encargado de los estudios y desarrollo de centrales hidroeléctricas, proyectos fotovoltaicos, ingeniería del agua, transportes entre otros.

### 2.2.1 Centrales Hidroeléctricas

Algunos estudios de Factibilidad de Central Hidroeléctrica Güepesa. 36,1 MW, Colombia. Estudio de Factibilidad de Central Hidroeléctrica La Teja. 38,6 MW, Colombia. Estudio de Factibilidad de Central Hidroeléctrica Santa Rosa. 35,6 MW, Colombia. Anteproyecto (diseño básico) de cuatro centrales hidroeléctricas reversibles (pump storage). Datos confidenciales. España. Proyecto Constructivo (diseño final) de Ampliación de Central Hidroeléctrica Águeda. 0,5 MW, España.

### 2.2.2 Fotovoltaica

Desarrollo e Ingeniería de Proyecto Fotovoltaico San Martín. 78 MWp, España. Desarrollo e Ingeniería de Proyecto Fotovoltaico Castellar. 44 MWp, España. Proyecto Constructivo (Diseño final) de Proyecto Fotovoltaico San Miguel. 5,4 MWp (Guatemala). Estudio de factibilidad para la financiación de Planta Solar Fotovoltaica Las Serafinas. 2,5 MW (España). Estudio de Factibilidad y Anteproyecto (Diseño Básico) de Planta de bombeo fotovoltaico Serchil. 0,25 MW, Guatemala. Anteproyecto (Diseño Básico) de Planta Cuna del Sol. 5 MWp, Guatemala. Anteproyecto (Diseño Básico) de Planta Ixtacapa. 3 MWp, Guatemala.

### 2.2.3 Ingeniería del Agua

Proyecto Constructivo (Diseño final) de sustitución de compuertas de la Presa de Guadiloba. 32 m de altura, Cáceres. España. Revisión de Seguridad de la Presa de Guadiloba, Cáceres, España. Adaptación de Normas de Explotación y Plan de Emergencia de la Presa de Guadiloba, Cáceres, España. Proyecto variante de la Obra: Abastecimiento y Drenaje de San Marcos y Esquipulas Palo Gordo, Guatemala. Proyecto Constructivo (diseño final) de Sifón Pentagua. Guatemala. Estudios hidrológicos de recurso para el desarrollo de Portfolio de Proyectos Hidroeléctricos, Perú.

## **2.3 OBJETIVOS DE PUESTO**

### 2.3.1 Objetivo general

Absorber todos los conocimientos prácticos que son necesarios para desarrollar un proyecto de energías renovables.

### 2.3.2 Objetivos específicos

1. Cálculo de pérdidas hidráulicas y salto bruto y neto, cálculo de potencias y producciones de centrales a filo de agua.
2. Dimensionamiento de centrales hidroeléctricas en base a análisis técnico-económico.
3. Cálculo de producciones en fotovoltaica, selección del tipo de seguidor, diseño del layout de los paneles.
4. Dimensionamiento técnico-económico de plantas fotovoltaicas.

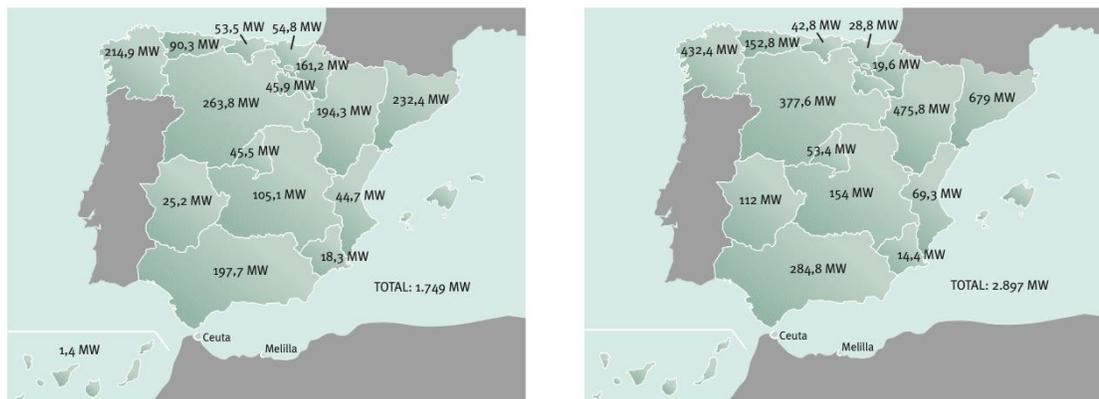
### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 ENERGÍA HIDRÁULICA

##### 3.1.1 Situación Actual en España

España cuenta con un sistema integrado de generación hidroeléctrica y un sector tecnológico maduro en este ámbito. Esto se debe a una serie de factores, como la presencia de importantes recursos hidrológicos y la larga tradición histórica de desarrollo hidroeléctrico. Aunque el desarrollo hidroeléctrico en España está progresando, la participación de la energía hidroeléctrica en la producción total de electricidad ha ido disminuyendo en los últimos años.

Por otro lado, la energía hidroeléctrica producida en pequeñas centrales continúa creciendo, aunque a un ritmo muy modesto. España es un país con una larga y dilatada tradición en la construcción de presas. Al año 2000 se inventariaron 1.147 presas con una capacidad total de almacenamiento de 55.000 Hm<sup>3</sup>.



**Ilustración 3 Potencia Hidroeléctrica Acumulada en España**

Fuente: (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006)

En España la potencia acumulada total es de 4,65 GW a finales del 2004 distribuyéndose en su mayor parte por las Comunidades Autónomas que se logran observar en la parte superior.

##### 3.1.1.1 Producción Hidroeléctrica Nacional corregir numeración

La producción anual de las centrales hidroeléctricas en España es muy variable y dependiente de la hidráulica. Los años de húmedos superan los 40.000 GWh, los años secos no alcanzan los 25.000 GWh. Promedio es de 32.500 GWh, lo que supone el 17%

de la producción media total del país. En 2004, la cuota de las energías renovables en el consumo total en España fue del 6,5%, un ligero descenso con respecto a 2003, cuando la cuota de las energías renovables alcanzó el 7%.

### *3.1.1.2 Impactos de la Energía Hidráulica*

El agua es el factor más importante, y su característica principal es que es parte de un ecosistema extremadamente frágil. El cambio que sufre el flujo de agua tiene el mayor efecto. El flujo de agua interrumpido conduce a un cambio directo en las poblaciones de peces, así como a una reducción en la capacidad del canal para autolimpiarse en el área interrumpida. Aguas arriba: Disminuirá el caudal, provocando la sedimentación de los materiales de transporte en suspensión. Incluso puede afectar los niveles de agua subterránea. Aguas abajo: La fuente de agua será altamente corrosiva. En la parte donde se construye minicentral: los efectos serán menos importantes, pero también cambiarán el ecosistema. Según el tamaño de la presa o el dique, las aguas mencionadas cambiarán el microclima. Pérdida de la calidad del agua por descarga accidental al río debido a la construcción, excavación o crecimiento de algas en el embalse. Barreras a las poblaciones de peces debido a la construcción de represas o represas. Así mismo, puede provocar una alteración del medio social, es decir, que aquí se engloban aquellas alteraciones que dañen todos los usos que tenga el ser humano, por ejemplo, pasos tradicionales de ganado, reservas indígenas se verán afectadas por el cambio de caudal.

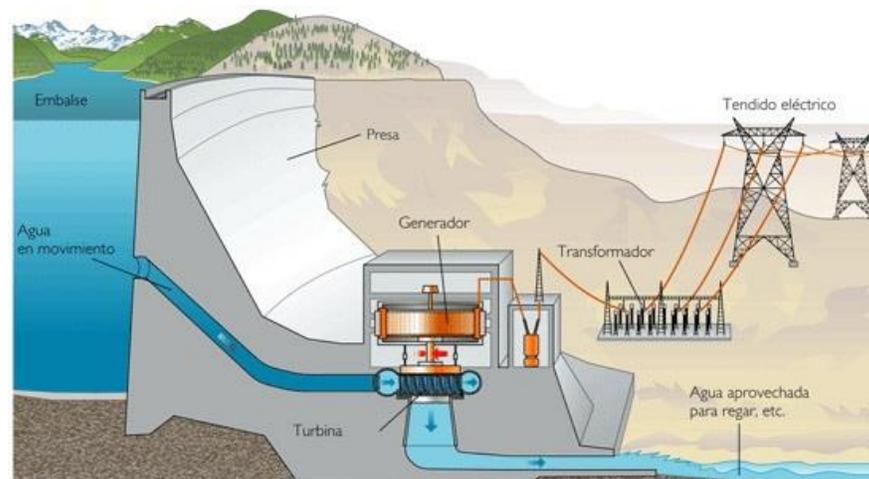
## **3.2 TECNOLOGÍA Y APLICACIONES**

### **3.2.1 Características de la Energía Hidroeléctrica**

El 71% de la superficie terrestre está cubierta de agua. La energía hidráulica proviene indirectamente de la energía solar, que es responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación de las reacciones nucleares en el Sol calienta la superficie de la Tierra, los ríos, los lagos y los océanos, lo que hace que el agua se evapore. El agua es transportada en forma de nubes a diferentes partes del planeta, donde vuelve a caer en forma de lluvia. Las centrales hidroeléctricas y las minicentrales eléctricas convierten esta energía en electricidad aprovechando la diferencia de cota entre dos puntos. Primero, la energía en forma de movimiento de agua se convierte en energía mecánica en la turbina

hidráulica que enciende el generador que convierte la energía mecánica en energía eléctrica en el segundo paso.

Según la UNIPEDA (Unión de Productores de Electricidad), para que una central hidroeléctrica sea considerada *mini* no debe de sobre pasar los 10 MW, sin embargo, Latinoamérica, el límite llega a los 30 MW.



**Ilustración 4 Proceso de una Central Hidroeléctrica**

Poner fuente de ilustración

### 3.2.2 Tipo de Minicentrales Hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas, incluidas las minicentrales hidroeléctricas, vienen determinadas en gran medida por las características y peculiaridades del lugar donde se ubican. Al operar este tipo de instalación, se debe tener en cuenta que la topografía afectará tanto la construcción como la elección de ingeniería.

#### 3.2.2.1. Central de Agua Fluyente

Esta es una aplicación en la que una parte del agua del río se canaliza a través de una entrada y se conduce a través de canales o tuberías a una planta de energía, donde entrará en contacto con una turbina. Después de haber transformado la energía mecánica a electricidad, el agua se devuelve al lecho del río.

Dentro de este grupo, existen diferentes formas de llevar a cabo la producción de energía. La característica común de todas las centrales hidroeléctricas es

que dependen directamente de las condiciones hidrológicas, ya que no pueden regular el caudal de la turbina, que es muy variable. En algunos casos, se construye una presa en la entrada para elevar el plano del agua y facilitar el flujo de agua hacia una alcantarilla o tubería de drenaje. El agua de reversa se dirige a la cámara de agua, desde la cual hay un puerto de salida por donde fluye el agua hacia la turbina en el punto más bajo de la instalación.



**Ilustración 5 Central de Agua Fluyente**

Fuente: (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006)

#### 3.2.2.2. *Central de Pie de Presa*

Esta es una aplicación en la que se puede construir un depósito en el lecho del río para contener agua de lluvia y el hielo que se derrite. La característica principal de este tipo de instalaciones es que tienen la capacidad de regular la salida de agua que será impulsada por la turbina en el momento de necesidad. Esta capacidad de control de producción se utiliza a menudo para proporcionar energía durante las horas pico.

### 3.2.3 Diseño de un Aprovechamiento Hidroeléctrico

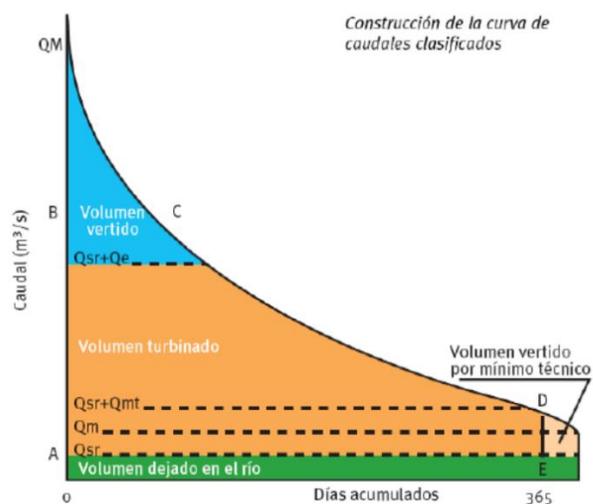
#### 3.2.3.1. *Determinación del Caudal de Equipamiento*

La selección del caudal de diseño adecuado es importante para determinar los equipos a instalar de forma que la energía generada sea la mayor posible en función de las condiciones hidrológicas. Por lo tanto, es necesario conocer el régimen de caudales del río en la zona de captación para determinar el consumo de agua estimado.

El caudal del río se mide en una estación de aforo, en el cual fluye un caudal instantáneo sobre el tramo del río donde se ubica la estación y en base a ello determina el caudal máximo, medio y mínimo diario correspondiente a un determinado caudal. Se han identificado un gran número de años para construir series temporales agrupadas por años hidrológicos.

Luego, en todo estudio hidrológico, se obtendrá una lista de información que podrá registrar años muy secos, secos, medio, húmedos y muy húmedos.

Después, se debe realizar la curva de caudales, donde se detallan el caudal existente, el caudal turbinado, caudal mínimo técnico y el caudal ecológico.



**Ilustración 6 Curva de Caudales Clasificados**

Fuente: (CDTI, 1982)

Donde, QM es el caudal máximo alcanzado en el año, Qm es el caudal mínimo del año, Qsr es el caudal de servidumbre o el caudal ecológico este lo fija el Organismo de Cuenca y por último el Qmt es el caudal mínimo técnico donde indica lo mínimo de caudal que necesita la turbina para funcionar este es directamente proporcional con el factor "K" que depende del tipo de la turbina.

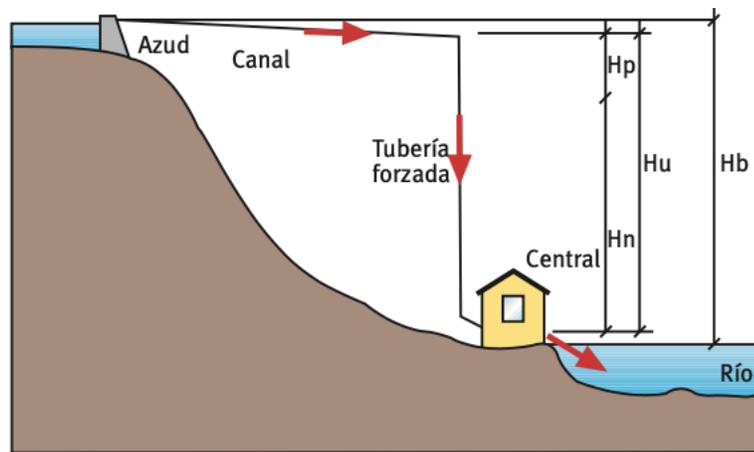
Formula para el calculo del caudal mínimo técnico:

$$Q_{mt} = K * Q_e$$

Fuente: (IDAE,1996)

### 3.2.3.2. Determinación del Salto Neto

El salto es otro valor fundamental en el diseño de minicentrales hidroeléctricas. Este debe ser el nivel máximo permisible según la topografía del área, teniendo en cuenta el límite que define el impacto ambiental y la viabilidad económica de la inversión.



**Ilustración 7 Diagrama Salto Neto**

Fuente: (CDTI, 1982)

Donde, Salto bruto ( $H_b$ ) es la altura existe entre la toma de agua y el punto de descarga, Salto útil ( $H_u$ ) es el desnivel existente entre la cámara de carga y el nivel de desagüe en la turbina, Salto neto ( $H_n$ ) es la diferencia entre el Salto útil ( $H_u$ ) y las pérdidas de carga, estas pérdidas son producidas por fricción del agua que se dan en el canal y en la tubería, también, por pasar por accesorios (válvulas, rejillas, codos, etc.)

Se calculan mediante la siguiente formula utilizando el coeficiente de Manning:

$$\frac{L * n^2}{\left( Sm^2 * Rh^{\frac{4}{3}} \right) Q^2}$$

### **Ecuación 1 Fórmula cálculo de Pérdidas**

Fuente: (IDAE,1996)

#### **3.2.3.3. Potencia Por Instalar y Producción**

La minicentral hidroeléctrica cuenta con una potencia disponible que varía en función del caudal de agua disponible para ser turbinado y el salto existente en cada instante. Se puede observar en la siguiente expresión:

$$P = 9.81 * Q * Hn * e$$

### **Ecuación 2 Fórmula Cálculo de Potencia**

Fuente: (IDAE,1996)

Donde,  $P =$  Potencia en kW

$Q =$  Caudal de equipamiento en  $m^3/s$

$Hn =$  Salto neto existente en metros

$e =$  Eficiencia =  $Rt + Rg + Rs$

$Rt =$  Rendimiento de la Turbina

$Rg =$  Rendimiento del Generador

$Rs =$  Rendimiento del Transformador

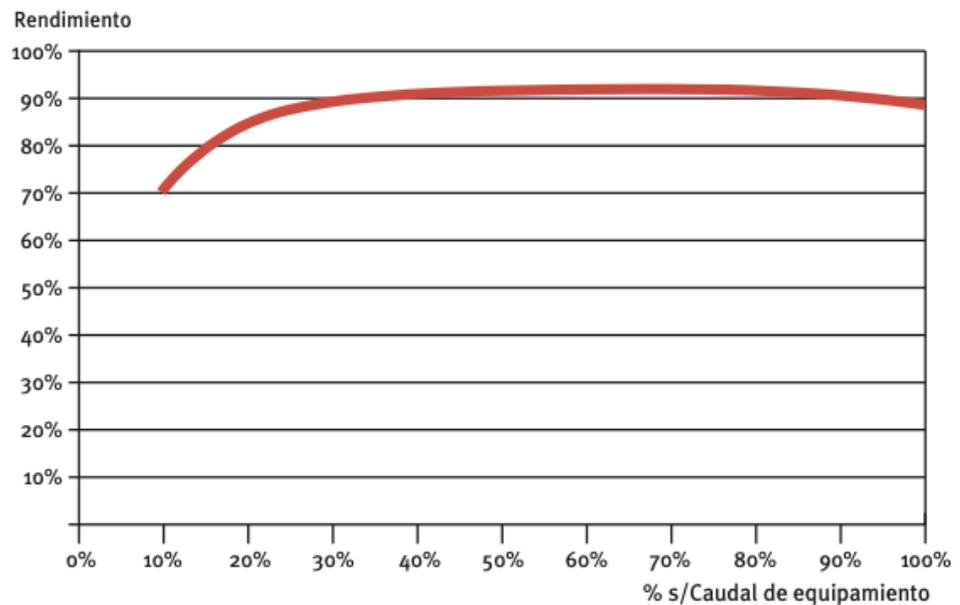
#### **3.2.4 Equipamiento Electromecánico**

Las turbinas hidráulicas son componentes importantes de las minicentrales eléctricas. Utiliza la energía cinética y potencial contenida en el agua, la convierte en rotación, la cual, al ser transmitida por el eje al generador, genera electricidad. Las turbinas hidráulicas se dividen en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción. En la turbina de acción, la presión del agua se convierte primero en energía cinética. En una turbina de reacción, la presión del agua actúa sobre la superficie de los álabes y disminuye a medida que viaja hacia la salida.

### 3.2.4.1. Turbinas de Acción

Estos son los que solo usan la velocidad del agua para girar. El tipo más utilizado es la denominada turbina Pelton, aunque existen otras como las turbinas de inyección lateral y las turbinas de doble pulso o de flujo cruzado, también conocidas como turbinas Ossberger o Banki-Michell.

Esta turbina se utiliza para salto grandes y un bajo caudal. Consiste en un rodete móvil con palas de doble cuenco. Un chorro de agua que ingresa a la turbina, guiado e impulsado por uno o más inyectores, golpea las palas y hace que la turbina gire. La potencia se regula mediante boquillas que aumentan o disminuyen la cantidad de agua suministrada. En las paradas de emergencia, se utiliza un deflector para dirigir el flujo hacia el desagüe, evitando que el vehículo se escape. Esto permite que las boquillas se cierren lentamente sin que aumente la presión en la línea de presión.



**Ilustración 8 Curva de Eficiencia Pelton**

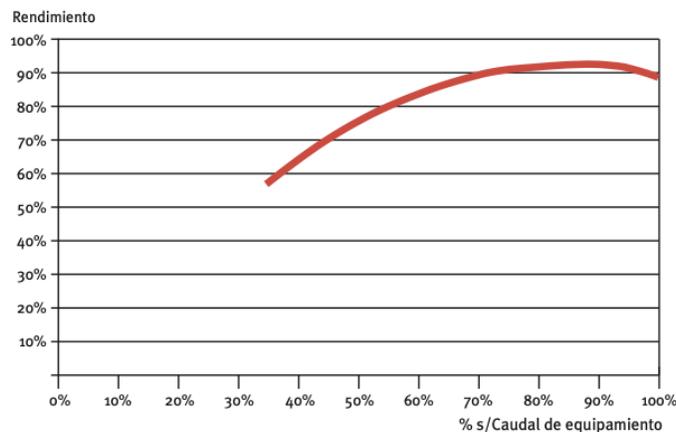
Fuente: (IDAE, 1996)

### 3.2.4.2. Turbinas de Reacción

Este tipo de turbinas tienen un diseño de hélice que les permite utilizar la presión restante en el agua de entrada para convertirla en energía cinética. Esto significa que el agua que sale del impulsor tiene una presión más baja que la atmósfera. La mayoría de estas turbinas están compuestas por los siguientes componentes:

- a. Cuerpo o caracol: Una estructura helicoidal estacionaria en la que parte de la energía de presión del agua entrante se convierte en energía cinética que dirige el agua alrededor del distribuidor.
- b. Distribuidor: Consta de dos coronas concéntricas; estator y rotor
- c. Rodete: Es un elemento móvil que transforma la energía cinética y la energía de presión del agua en trabajo.
- d. Difusor: Un tubo divergente recoge parte de la energía cinética del agua.

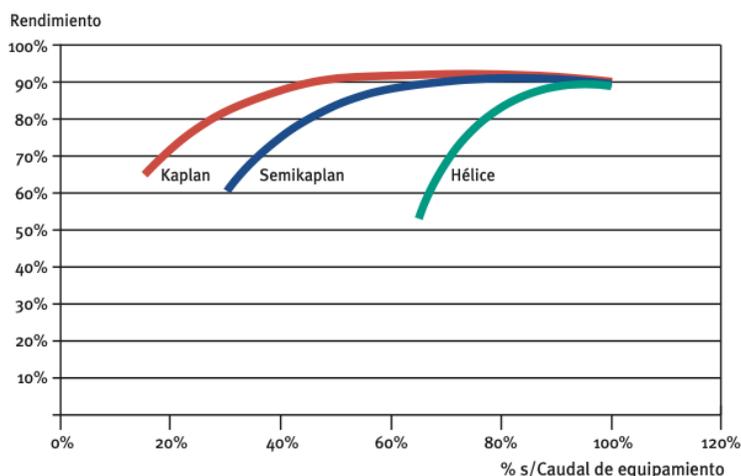
Entre ellas se encuentra la turbina Francis, esta turbina tiene un rango variado de utilización ya que se puede utilizar para saltos grandes como pequeños y para caudales variados.



**Ilustración 9 Curva de Eficiencia Francis**

Fuente: (IDAE, 1996)

Así mismo, se encuentra la turbina Kaplan, se compone principalmente de una cámara de admisión abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rotor de 4 o 5 álabes fijos en forma de impulsor de hélice y un colector de admisión. Las turbinas Kaplan y Semi-Kaplan son variantes de la Hélice con diversos grados de ajuste. Ambos tienen un impulsor con paletas ajustables, lo que les da la capacidad de operar en un rango más amplio de velocidades de flujo.



**Ilustración 10 Curva de Eficiencia Kaplan**

Fuente: (IDAE, 1996)

### 3.2.4.3. Rangos de Utilización y Rendimientos

Según el salto y el caudal, es más conveniente utilizar un tipo de turbina u otro. Esto es lo que nos dice sobre el alcance del uso. Además, debe considerar la curva de rendimiento de cada turbina, que varía según la corriente de actividad. En general, la turbina se utilizará será:

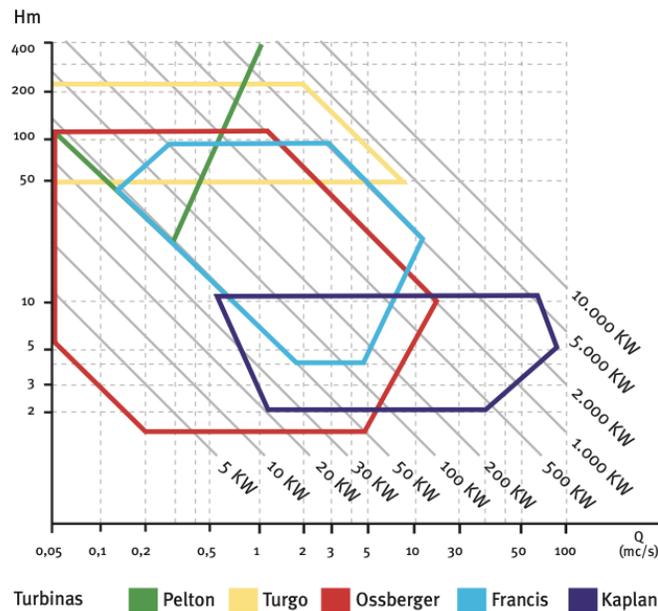
Kaplan: Saltos pequeños y caudal variable.

Francis: Saltos más grandes y fluctuaciones de caudal moderadas.

Pelton: Grandes saltos, independientemente del cambio de caudal.

El rendimiento también varía en función del trayecto en el que vayamos a instalar la central. Este cambio es menos obvio, pero necesita ser analizado porque para

estimar con precisión la energía generada durante el uso, es necesario analizar eficiencia de la turbina en cada modo de operación.



**Ilustración 11 Rango de Utilización de diferentes Turbinas**

Fuente: (IDAE, 1996)

### 3.3 FACTORES ECONÓMICOS

El costo de inversión y construcción de una central hidroeléctrica depende de muchos factores diferentes, como el terreno, las vías de acceso, el tipo de central, la escala, la capacidad y los puntos de conexión. Además, se deben considerar las diferentes partes del proceso y los costos de cada una: primero la fase de diseño, luego la fase de implementación y finalmente la fase operativa. En primer lugar, redactar el proyecto de construcción y montaje de la minicentral hidroeléctrica, especificando el alcance de la obra, equipos de instalación y potencias. En segundo lugar, se lleva a cabo la fase de ejecución del proyecto, en la que se distinguen tres aspectos que inciden decisivamente en los costes: construcción general, grupo de turbinas, sistema eléctrico y sistema de control. El porcentaje de cada elemento varía según el tipo de acción y según el tipo de central.

En una primera estimación, la rentabilidad de una minicentral puede valorarse utilizando los

siguientes índices:

Periodo de retorno es el tiempo que se tarda en recuperar la inversión

$$P. R. = \frac{\text{Inversión (\$)}}{(\text{ingresos} - \text{gastos}) \text{ anuales (\$/año)}}$$

*Ecuación 3 Cálculos periodo de Retorno Hidroeléctrica*

Índice de energía es el costo del kWh generado

$$I. E. = \frac{\text{Inversión (\$)}}{\text{Energía producida (kWh/año)}}$$

Índice de potencia es el coste de kW instalado

$$I. P. = \frac{\text{Inversión (\$)}}{\text{Potencia instalada (kW)}}$$

Se puede considerar como rentables, de forma aproximada, aquellos aprovechamientos que tiene valores comprendidos en los siguientes intervalos:

Período de retorno: 8–12años

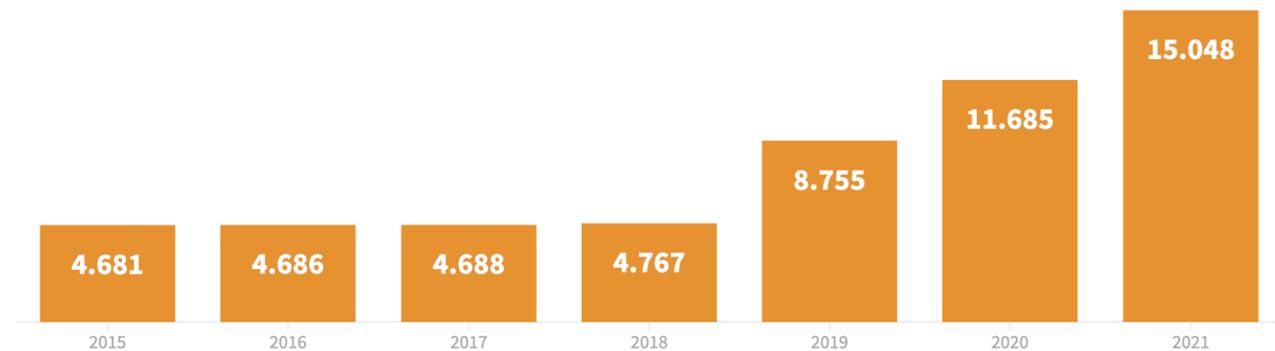
Índice de energía: 40 – 70 cent€/kWh

Índice de potencia: 1.500 – 2.000 €/kW

### 3.4 ENERGÍA FOTOVOLTAICA

#### 3.4.1 Situación Actual en España

La demanda eléctrica en España se va recuperando en los últimos años, después de la pandemia. Así, en 2021 la demanda eléctrica alcanzará los 256.387 GWh, un ,5% más que el año anterior (Red Eléctrica de España, 2022). Ajustada por el efecto de las horas de trabajo y la temperatura, la tasa estimada de variación de la demanda anual en el año es del mismo valor (2,5%). En cuanto a la producción, destaca el récord histórico de producción renovable, alcanzando el 6,7% de la producción eléctrica en 2021. Adicionalmente, la solar fotovoltaica lideró el incremento de la producción con un incremento del 36,7% y también registró un máximo histórico de producción y participación en el mix nacional con el 8% del total.



**Ilustración 12 Potencia eléctrica instalada de solar fotovoltaica en MW**

Fuente: (Red Eléctrica de España, 2022)

### 3.5 TECNOLOGÍA Y APLICACIONES

#### 3.5.1 Características de la Energía Fotovoltaica

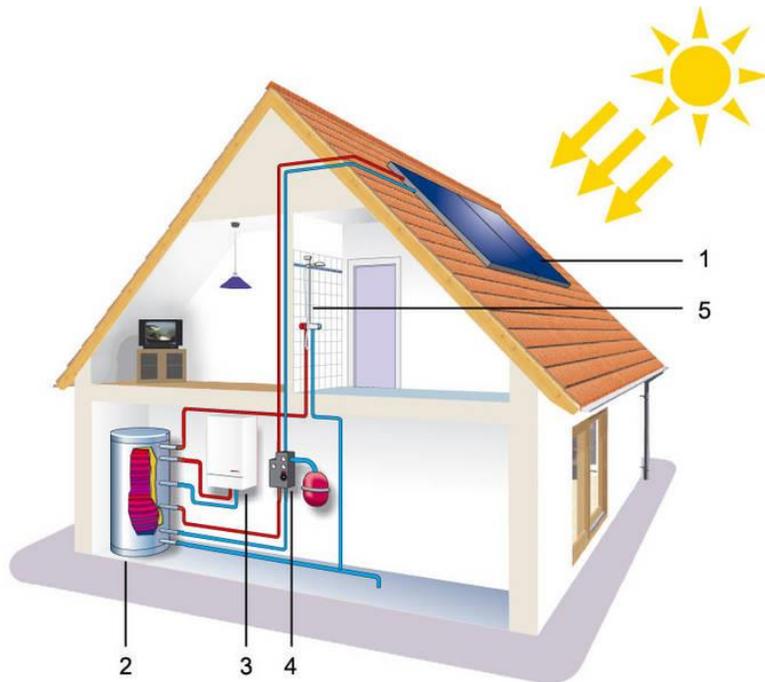
La energía solar es energía que proviene del Sol y la podemos obtener a través de la radiación solar. Esta fuente de energía representa la principal fuente de energía en la Tierra. Por ser una fuente inagotable, se considera energía renovable.

Existen diversas formas de aprovechar la energía solar, de manera fotovoltaica, mediante un efecto físico, la radiación solar puede producir una corriente eléctrica. Por lo tanto, es un medio para convertir este recurso en electricidad.

Solar térmica, este sistema aprovecha el calor del sol. La radiación solar se convierte en energía térmica para calentar un líquido utilizable para calefacción, agua caliente. En las centrales termosolares se genera vapor y luego electricidad.

Solar pasiva, es un recurso para aprovechar el calor solar sin utilizar recursos externos.

Por ejemplo, aprovechar la luz que proporcionan los rayos solares.

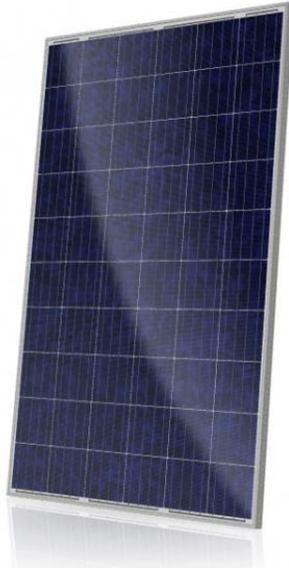


**Ilustración 13 Energía Solar Térmica**

Fuente: (Erecoambiental, 2018)

### 3.5.2 Equipo Fotovoltaico

El panel o módulo fotovoltaico es una colección de celdas fotovoltaicas encerradas arriba y abajo con diferentes capas para protección mecánica y protección contra la intemperie, conectadas convenientemente para que cumplan ciertas condiciones para que él pueda estar a cargo de la forma correcta de capturar energía del sol, en forma de radiación solar y convertirla en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico. Entre los más comunes se encuentran los paneles de silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo.



**Ilustración 14 Modulo Fotovoltaico 275Wp**

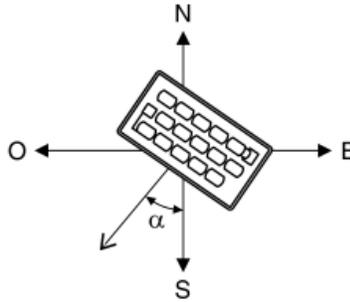
Fuente (Canadian solar, 2022)

La electricidad generada por los paneles solares fotovoltaicos es continua con voltaje y valores CC dependiendo de los paneles. Es necesario procesar la energía eléctrica para que responda a las características establecidas para traerla a la red, de manera que debe ser sinusoidal, con una frecuencia de 50 Hz y unos valores de tensión predeterminados del para no crear perturbaciones en la red de suministro. La función principal del inversor es convertir la CC procedente de los paneles fotovoltaicos en CA.

### 3.5.3 Diseño de un Aprovechamiento Fotovoltaico

#### 3.5.3.1. *Orientación de los Paneles*

Uno de los primeros pasos para un buen diseño es decidir la orientación de los paneles, ya que lo principal es tratar de aprovechar la mayor cantidad de radiación solar. Esta orientación se determina gracias al ángulo azimut  $\alpha$ .



**Ilustración 15 Representación ángulo azimut**

Fuente: (Martínez, 2015)

El azimut es el ángulo de una dirección medido en el sentido de las agujas del reloj desde el Norte u otro meridiano de referencia. Siempre se busca que la orientación de los paneles vaya orientada al sur es decir al ángulo 0°.

### 3.5.3.2. *Inclinación de los Paneles*

La inclinación diseñada de los módulos solares es fija y óptima para captar la máxima radiación solar. La inclinación de los módulos solares viene determinada por el ángulo de inclinación  $\beta$ , es el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor de va desde 0° para el módulo horizontal hasta 90° para el módulo vertical.

Por la siguiente fórmula válida en España y que depende directamente de la latitud tenemos:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * | \theta |$$

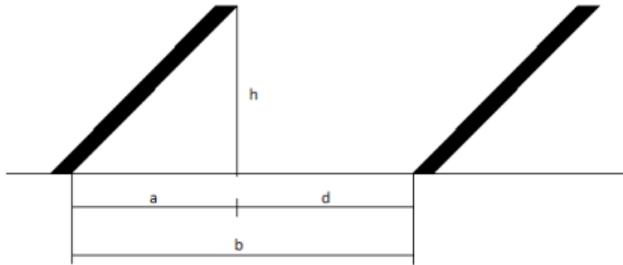
**Ecuación 4 Inclinación óptima paneles**

Fuente: (Martínez, 2015)

### 3.5.3.3. *Distancia de Separación entre Filas*

En un dimensionamiento hay que tener en cuenta que la sombra de las filas de los módulos que estén en frente no disminuyan la cantidad de radiación solar utilizable, es por lo que debe tener en cuenta una separación entre fila y fila. El método para obtener la distancia se puede

observar en la siguiente ilustración.



**Ilustración 16 Diagrama Distancias mínimas**

Fuente: (Martínez, 2015)

Distancia "d" medida horizontalmente, es la distancia entre una fila de módulos solares y un obstáculo de altura "h" que pueda proyectar una sombra sobre la instalación. Debe proporcionar mínimo 4 horas de sol cerca del mediodía en el solsticio de invierno.

$$d = h / \tan (61^\circ - \theta)$$

**Ecuación 5 Cálculo de Distancia mínimas**

$$h = \text{sen } \beta * L$$

$$L = \text{Longitud del panel}$$

Por lo tanto, la distancia que debe haber entre los paneles resultará de;

$$b = a + d = (\cos \beta * L) + d$$

*Ecuación 6 Distancia entre los extremos inferiores*

Fuente: (Martínez, 2015)

**3.5.3.4. Rendimiento Energético de la Instalación (PR)**

PR se define como el comportamiento de la instalación en condiciones reales de funcionamiento para la fase de diseño.

Este es un factor que tiene en cuenta la pérdida de eficiencia energética debida a muchos factores que se pueden cuantificar en el diseño, para establecer el valor de eficiencia de la instalación lo más cercano posible a las condiciones reales.

### 3.6 FACTORES ECONÓMICOS

El costo de inversión y construcción de una planta fotovoltaica depende de muchos factores diferentes, como el terreno, número de paneles, número de inversores, caminos de acceso, mantenimiento y mano de obra, entre otras. De forma general, para que una planta solar sea rentable en su etapa de prefactibilidad una generación específica debe ser mayor de 1600kWh/kWp/año y su PR tiene que estar entre el 70% y el 80%. Luego, se debe hacer un análisis de LCOE con la siguiente fórmula:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Esta fórmula fue extraída del software de simulación PVSyst (V 7.1.0)

## **IV. DESARROLLO**

### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLADO**

Durante la práctica profesional se realizaron diferentes actividades, primero se investigo acerca de las minicentrales hidroeléctricas en forma de repaso para familiarizarse con los términos y conceptos. Luego, se realizó un cálculo de potencias y de turbinas para un proyecto de prefactibilidad en Colombia. En la hoja de análisis se calcularon las perdidas, los saltos y las producciones para cada caudal. Para terminar, en un análisis económico para decidir que caudal conviene más utilizar y que turbina elegir, dependiendo del Payback y la tasa de retorno. Para luego, pasar a otra etapa de factibilidad.

También, se realizaron algunas visitas técnicas en plantas hidroeléctricas y una planta solar. La visita en plantas hidráulicas fue en la zona de Asturias y Castilla y León, se visitaron las centrales de Murias (6,4 MW), Olloniego (0,2 MW), Puerto (1,5 MW), Camporriondi (15,2 MW), Cordiñanes (9,8MW), Restañó (14,4 MW), Ribota (3,4 MW) y San Pedro (1,9 MW). Se puede observar en los Anexos. El propósito de la visita fue para verificar el estado de las centrales para un posible comprador interesado.

Luego se empezó a trabajar con la parte fotovoltaica del departamento, primero, se investigó acerca de los conceptos y términos sobre energía fotovoltaica conectada a la red y aislada. Después, se realizaron cálculos de potencia y de dimensionamiento utilizando el software PVsyst. Para finalizar realizando un proyecto en prefactibilidad Cádiz, que incluía dimensionamiento de módulos e inversores, así como, un análisis económico de prefactibilidad. Luego se realizó otra visita en la zona sur del país, Puente Genil. Por último, se trabajó en un análisis solar y fotovoltaico para una empresa en Honduras, Copan Water. Se planeo buscar una solución solar para disminuir el consumo reflejado en la factura. Se presento un reporte final de factibilidad y un análisis técnico-económico.



## V. CONCLUSIONES

1. Se calcularon las pérdidas hidráulicas, salto bruto y neto, también, se calcularon las potencias y producciones de diferentes proyectos en estado de prefactibilidad, utilizando hojas de cálculo propias de Excel.
2. Se analizaron todos los parámetros económicos como el Payback y la TIR, para un dimensionamiento en una planta hidroeléctrica en etapa de prefactibilidad con base en análisis técnico-económicos.
3. Se realizó el cálculo de producción en fotovoltaica, se seleccionó el tipo de seguidor y diseño de la distribución de los paneles en PVsyst, para un proyecto en Cádiz, España.
4. Se analizaron todos los parámetros económicos como el Payback y la TIR, para varias plantas solares con base en análisis técnico-económicos.
5. Se realizaron todas las prácticas necesarias para poder adquirir la experiencia deseada al inicio del periodo, como visitas de plantas hidroeléctricas y plantas solares

## **VI. RECOMENDACIONES**

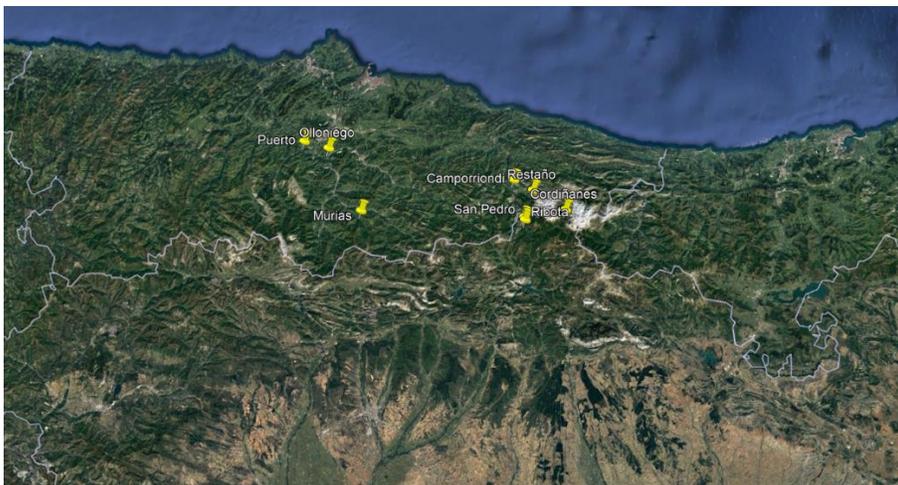
1. Realizar reuniones cada cierto tiempo para verificar el progreso de cada uno de los integrantes y despejar dudas.
2. Trabajar más con la publicidad o marketing a través de redes sociales u otros medios para generar más crecimiento de la empresa.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Martínez, L. (2015, septiembre). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico, T.M. Molina de Segura (Murcia)*.[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57015/01\\_Memoria.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57015/01_Memoria.pdf?sequence=1)
- [2] Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). *Pequeñas centrales hidráulicas*. Madrid: CDTI. Ministerio de Industria y Energía, 1982.
- [3] (IDAE). *Guía práctica de la energía: consumo eficiente y responsable*. Madrid: IDAE, cop. 2004.r, J. S. y Arndt, R. E. A. *Hidropower Engineering Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1991.
- [4] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Manual de minicentrales hidroeléctricas*. Madrid: Cinco Días, 1996. (Manuales de Energías Renovables; 1).
- [5] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2006). *Minicentrales hidroeléctricas* (Vols. 1–6). IDAE.
- [6] Gulliver, J. S. y Arndt, R. E. A. *Hidropower Engineering Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1991
- [7] Red Eléctrica de España. (2022, 18 marzo). *Avance del Informe del sistema eléctrico español 2021*. Recuperado 6 de junio de 2022, de <https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema/avance-del-informe-del-sistema-electrico-espanol-2021>

## VIII. ANEXOS

### 1. Visita Centrales hidroeléctricas



## 2. Murias

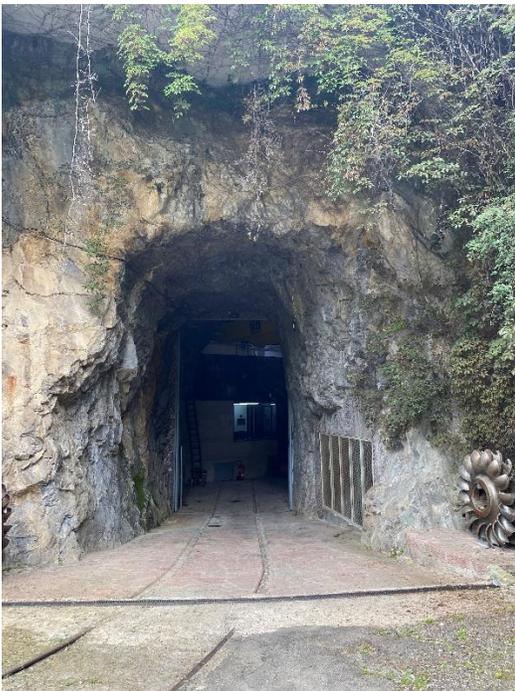


3. Olloniego y Puerto





#### 4. Camporriondi



5. Cordiñanes

