



**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y
OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA
INSTALACIÓN DE CAPTACIÓN DE AGUAS
SUBTERRANEAS**

**ANALYSIS OF ALTERNATIVES AND ENERGY
OPTIMIZATION OF AN UNDERGROUND
WATER COLLECTION FACILITY**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Presentado por:

D. RUDDY OSCAR ROBLES SILES

Dirigido por:

**D. JOSÉ ANTONIO IGLESIAS MARTÍN
D. RAÚL NOGUERAS**

Alcalá de Henares, a 3 de Junio de 2019

D. José Antonio Iglesias Martín y D. Raúl Nogueras Martínez

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado: Análisis de alternativas y optimización energética de una instalación de captación de aguas subterráneas, ha sido realizado bajo nuestra dirección por el alumno D. Ruddy

Oscar Robles Siles

Alcalá de Henares, a 3 de junio de 2019

Firmado:



Fdo. José Antonio Iglesias Martín



Fdo. Raúl Nogueras Martínez

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo General.....	11
2.2. Objetivos Específicos.....	11
3. METODOLOGÍA	11
3.1. Análisis de datos de partida	11
3.1.1. Datos de demanda de agua	11
3.1.2. Datos del sondeo del pozo.....	12
3.1.3. Datos de la red de distribución y cálculo de parámetros de seguridad.....	15
3.2. Caracterización de captación	17
3.3. Escenarios de funcionamiento y dimensionamiento de bombas.	18
3.3.1. Determinación de caudal de explotación y horarios de bombeo.....	18
3.3.2. Calculo de altura manométrica para los diferentes escenarios de bombeo ...	19
3.3.3. Selección de Grupo de bombeo para cada escenario.....	23
3.4. Consumo energético y sistema de tarifa eléctrica.....	25
3.4.1. Calculo de consumo energético	25
3.4.2. Selección de tarifa eléctrica	26
3.4.3. Calculo de Potencia a Facturar	29
3.4.4. Calculo de Energía consumida a facturar	32
3.4.5. Cálculo de Energía Reactiva.....	34
3.5. Calculo de costes de implementación de los diferentes escenarios de bombeo....	36
3.5.1. Costes de implementación para la obra civil	36
3.5.2. Costes de implementación para las equipaciones de los grupos de bombeo.	37
3.5.3. Análisis de viabilidad financiera de los escenarios.	42
4. RESULTADOS.....	43
4.1. Consumo energético total de cada escenario de bombeo	43
4.2. Costes totales de implementación para cada escenario.	45
5. DISCUSIÓN.....	46
6. CONCLUSIONES	48
7. BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de la demanda de agua	12
Figura 2 Grupo Electrobomba, recuperado de www.franklinlinkmx.wordpress.com	24
Figura 3 Definiciones de potencia, modificado de GRUNDFOS manual de Ingeniería SP.	26
Figura 4 Esquema de una instalación de bombeo, adaptado de Manual Bombas ITUR, 1987.	38
Figura 5 Consumo energético total de cada escenario.	44
Figura 6 Coste Energético al año de cada escenario de bombeo.	45
Figura 7 Costes totales de implementación.	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos del sondeo del pozo	13
Tabla 2 Datos de la columna de entubación del pozo	14
Tabla 3 Datos de la red de distribución	15
Tabla 4 Coeficiente de rugosidad para el cálculo de pérdida de carga (Fuente Normativa para redes de abastecimiento, Canal Isabel II)	16
Tabla 5 Parámetros de seguridad	17
Tabla 6 Datos referenciales para dotaciones de agua a poblaciones (Fuente Plan Hidrológico del Duero R.D. 1/2016 del 8 de enero)	17
Tabla 7 Escenarios de bombeo para la captación de agua.....	19
Tabla 8 Datos de descenso, nivel dinámico del acuífero y profundidad de instalación	20
Tabla 9 Valor del Coeficiente "f" calculado para las tuberías.....	22
Tabla 10 Velocidad del agua para los diferentes escenarios de bombeo.....	22
Tabla 11 Pérdidas de carga en tuberías para los cuatro escenarios definidos.....	23
Tabla 12 Resultados de alturas manométricas para los diferentes escenarios.....	23
Tabla 13 Datos técnicos de los grupos de bombeo seleccionados	24
Tabla 14 Potencias calculadas para cada escenario de bombeo.	26
Tabla 15 Tarifas eléctricas establecidas en el Real Decreto 1164/2001.....	27
Tabla 16 Precios y horarios de la tarifa eléctrica 3.0A (Baja Tensión) para el año 2018. ..	28
Tabla 17 Precios y horarios de la tarifa eléctrica 3.1A (Alta Tensión) para el año 2018....	28
Tabla 18 Distribución horas de bombeo en los periodos de las tarifas	29

Tabla 19	Calculo de Potencia a Facturar de los escenarios en tarifa 3.0 de baja tensión....	30
Tabla 20	Calculo de Potencia a Facturar de los escenarios en tarifa 3.1 A de alta tensión.	31
Tabla 21	Datos Transformador para escenarios en alta tensión.	32
Tabla 22	Calculo del consumo de energía para Tarifa 3.0.	33
Tabla 23	Calculo del consumo de energía para Tarifa 3.1 A	34
Tabla 24	Resultados calculo energía reactiva para los diferentes escenarios.....	35
Tabla 25	Costes obra civil.	37
Tabla 26	Costes fijos de implementación.....	39
Tabla 27	Costes cable de alimentación del grupo de bombeo.....	40
Tabla 28	Precios tubería de impulsión del sistema bombeo.....	40
Tabla 29	Precios grupos de bombeo para cada escenario	41
Tabla 30	Precios Transformadores de acuerdo a la potencia requerida	41
Tabla 31	Costes finales de implementación de los escenarios de bombeo.	42
Tabla 32	Calculo del coste anual equivalente de los escenarios de bombeo.....	43
Tabla 33	Consumo diario de energía para cada escenario en tarifa 3.0A.....	51
Tabla 34	Días de funcionamiento de acuerdo a tarifa 3.0A	52
Tabla 35	Total consumo y coste energético mensual para cada escenario en tarifa 3.0A...	53
Tabla 36	Consumo diario de energía para cada escenario en tarifa 3.1A alta tensión	54
Tabla 37	Días de funcionamiento de acuerdo a tarifa 3.1A alta tensión.	55
Tabla 38	Ejemplo de cálculo de consumo y coste energético para escenario 1 en tarifa 3.1A de alta tensión	56
Tabla 39	Total consumo y coste energético mensual para cada escenario en tarifa 3.1A de alta tensión.....	56

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CAE: Coste Anual Equivalente.

kW: Kilovatios

kW/h: Kilovatios por Hora

KV: Kilo Voltios

KVA: Kilovoltio amperio

Kg/m³: Kilogramos por metro cúbico

L/día: Litros por día.

L/seg: Litros por segundo

m: Metros

mm: Milímetros

m³: Metros cúbicos

msnm: Metros sobre el nivel del mar

m/seg: metros por segundo

m³/hr: metros cúbicos por hora

ONU: Organización de las Naciones Unidas

Q: Caudal

R.D.: Real Decreto

V: Vatios

RESUMEN

El consumo de combustibles fósiles y las emisiones provenientes de las diferentes centrales de energía térmica, afectan de forma directa a la calidad atmosférica a nivel local y mundial, contribuyendo además a las altas concentraciones de contaminación que ya existen en las zonas urbanas, que a su vez aportan de forma negativa al cambio climático. Estos cambios a nivel mundial pueden afectar a las reservas de agua en la capa freática, afectando al abastecimiento de agua en muchas zonas del planeta.

Es por tal motivo, que el presente trabajo tiene como objetivo principal analizar todos los elementos requeridos para establecer un óptimo régimen de bombeo y un correcto dimensionamiento de los equipos electromecánicos para la extracción de agua y abastecimiento de una población, generando el menor consumo energético y menor coste económico de la explotación de la instalación.

1. INTRODUCCIÓN

El consumo energético y el aprovechamiento de los recursos naturales, son dos factores que se encuentran ligados entre sí de forma permanente, especialmente al momento de la obtención del agua para el consumo humano. Por lo cual es importante que seamos conscientes de todo el trabajo e impactos que son necesarios generar para que, al levantarnos cada mañana, podamos tener este recurso tan importante para nosotros, al orden del día en cada uno de nuestros hogares.

El planeta tierra cuenta solo con un 3% de agua dulce que puede ser utilizada para el consumo humano, dentro de este porcentaje únicamente el 1% es accesible, ya que el 2% restante se encuentra congelada en glaciares y en las profundidades de los océanos, (ONU, 2010). De acuerdo Nieto (2011), en los últimos años el aumento de temperaturas, los cambios en las características hidrológicas y la actividad antrópica han afectado en la calidad del agua, como la contaminación por sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, agentes patógenos, plaguicidas y sales. Todos estos cambios repercuten en la demanda energética para poder conseguir más agua potable, ya que con el paso del tiempo se requiere más energía para tratar el agua o para bombearla a mayores distancias y desde mayores profundidades.

En la actualidad el 2 a 3 por ciento de la energía consumida en el mundo es utilizada para el bombeo y tratamiento de agua para las diferentes poblaciones y zonas industriales (Campbell et al., 2003). De acuerdo a Campbell et al., (2003), solo el 0.008% de toda el agua de la tierra es de fácil acceso para el uso directo de los seres humanos, por tal motivo es muy importante que empecemos a adoptar medidas que nos ayuden a realizar una explotación sostenible de los recursos naturales y que demanden la menor cantidad de energía posible.

Actualmente la conciencia en la población de que el agua es un recurso escaso y de que la utilización del mismo genera impactos sobre el medio ambiente, hacen que el despilfarro de agua y energía sean considerados como una conducta no sostenible para la ecología (Pulido, 2003). Considerando que dicha conciencia ambiental ha hecho surgir nuevas demandas de agua para actividades como mantenimiento de caudales ecológicos, zonas de recreo, conservación de especies acuáticas, paisajes, etc., es cada vez más importante el manejo responsable de los recursos naturales (Campbell et al., 2003).

De acuerdo a una reciente noticia publicada en la página de las Naciones Unidas (www.un.org/es/), el 55% de la población mundial reside en áreas urbanas y se prevé que para el 2050 llegará al 60%, estos porcentajes generan grandes retos para las diferentes empresas privadas o públicas que dan servicios de agua tanto a zonas urbanas como a zonas rurales, ya que son los principales actores al momento de la administración de este recurso, generando en las mismas una alta responsabilidad al momento de suministrar agua, teniendo como meta una alta efectividad de costos y consumo energético, para así mantener el funcionamiento de las ciudades y zonas rurales.

Considerando que las aguas subterráneas, dependiendo del volumen demandado, son las que presentan un acceso más rápido para el abastecimiento y que para la captación de las mismas se requiere equipos de bombeo que generan una alta demanda de energía, es de vital importancia realizar un correcto dimensionamiento de los equipos, estableciendo caudales, tiempos de bombeo y tarifas eléctricas más adecuadas que optimicen el consumo y coste energético cumpliendo siempre con la demanda de agua de las comunidades.

Es en tal sentido que el presente trabajo tiene la finalidad de realizar un análisis técnico de la instalación de un sistema de captación de agua subterránea, en base a la simulación de una demanda de agua en una población. Considerando que el consumo energético y los costes del equipamiento de los pozos de extracción de agua, dependen de las características hidrológicas del acuífero y de los descensos del nivel dinámico generados por el caudal de explotación, se realiza la proyección de distintos escenarios con diferentes tiempos de bombeo a diferentes alturas de explotación y ajustando las horas de bombeo en las tarifas de electricidad más económicas, con la finalidad de satisfacer la demanda de agua optimizando el consumo energético y costes de explotación.

Por otro lado, el análisis para la determinación del consumo energético se realiza en base a los parámetros establecidos en la normativa española. Se define la tarifa eléctrica más adecuada para este tipo de actividad, y en base a la misma se realizarán los diferentes cálculos de consumo energético y de potencia generados por los diferentes escenarios proyectados.

Considerando que actualmente con el avance tecnológico existe una gran variedad de diseños de grupos de electrobomba disponibles para la captación de aguas subterráneas, se ve la necesidad de seleccionar equipos que presenten los mejores rendimientos para el consumo energético y costes más favorables para su implementación. Por lo cual con el

resultado final de este trabajo se buscará combinar estas características con los escenarios de bombeo que mejor optimicen el consumo energético y que cumplan de forma eficiente la demanda de agua.

2. JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar un análisis técnico de captación de agua subterránea para abastecer a una población, con el objeto de establecer un régimen de explotación que minimice el coste energético, tanto del factor potencia como de consumo.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar un régimen de explotación, equipo de bombeo y tarifa eléctrica más adecuada que optimicen el consumo y coste energético generado por la elevación del agua, considerando las regulaciones y precios establecidos en la base de la normativa del Estado Español.
- Establecer los costes económicos finales del aprovechamiento de agua subterránea, considerando los diferentes importes generados por la construcción y costes de explotación.

3. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se analizan la demanda y horarios del consumo de agua de una población, a partir de las características del sondeo del pozo y de la red de distribución.

En base a los datos mencionados en el párrafo anterior se establecen escenarios de bombeo que satisfagan la demanda de la población, considerando diferentes horarios, caudales y alturas manométricas. Posterior a ello se realiza el cálculo del consumo energético para cada uno de los escenarios generados, basándose en los parámetros establecidos en la normativa española de electrificación.

3.1. Análisis de datos de partida

3.1.1. Datos de demanda de agua

De acuerdo a los datos establecidos para el presente análisis, se tiene una población con un total de 5000 habitantes y presentan la siguiente distribución de consumo de agua en un tiempo de 24 hr (Ver Figura 1).

Al realizar el análisis de la distribución de la demanda de agua, se puede observar que el mayor consumo se registra en la noche, en horarios de las 19:00 a 21:00 donde se demanda

un caudal de 35 l/seg aproximadamente, seguido por el consumo en horarios de la mañana entre las 07:00 a 10:00, donde el máximo caudal demandado llega a un total de 31 l/seg. Por otro lado, también se puede observar que el menor consumo se encuentra registrado en la madrugada en horarios de 24:00 a 06:00 con un caudal que varía entre los 1,7 y 3,5 l/seg. De acuerdo al análisis realizado podemos observar como la distribución de los diferentes picos de consumo de agua coinciden con los tiempos de descanso y con los horarios de preparación para comenzar la jornada laboral.

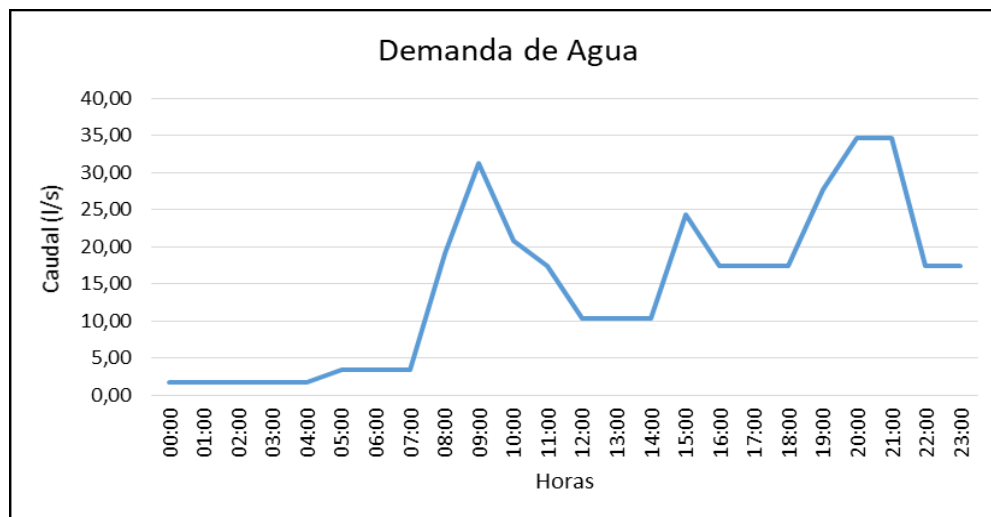


Figura 1 Distribución de la demanda de agua

3.1.2 Datos del sondeo del pozo.

Previo a cualquier dimensionamiento de bombas para la captación, se debe contar con los respectivos datos de las características del sondeo del pozo y de la columna de entubación del mismo.

Esta información nos ayudará a determinar los diferentes caudales de explotación y altura manométrica para el dimensionamiento del grupo de bombeo. El nivel estático y nivel dinámico final del pozo de bombeo, obtenido de la información proporcionada del aforo del pozo y de la caracterización de la demanda, nos ayudaran a establecer los límites de aprovechamiento del acuífero, pudiendo así determinar caudales que no superen la capacidad del mismo.

Tabla 1 Datos del sondeo del pozo

Características sondeo	Datos
Profundidad	550 m
Diámetro int tubería revestimiento	450 mm
Espesor tubería de revestimiento	8 mm
Espesor filtros	10 mm
Tipo de filtro	Puentecillo
Apertura de filtro	1,5 mm
Nivel estático	120 m
Nivel dinámico final	300 m
Caudal específico	0,8 l/s/m

De acuerdo a la información obtenida de la columna de entubación del pozo de aprovechamiento, se podrá definir cuál es la profundidad óptima a la que se deberá instalar el sistema de bombeo, considerando niveles y zonas dentro de la columna de entubación, donde la bomba pueda captar agua del acuífero y donde el motor cuente con una buena refrigeración y evite la cavitación del equipo.

Tabla 2 Datos de la columna de entubación del pozo

COLUMNA DE ENTUBACIÓN					
Inicio (m)	Final (m)	Tipo	Inicio (m)	Final (m)	Tipo
0,00	80,00	CIEGA	252,50	264,50	CIEGA
80,00	83,00	FILTRO	264,50	267,50	FILTRO
83,00	89,00	CIEGA	267,50	285,50	CIEGA
89,00	92,00	FILTRO	285,50	287,00	FILTRO
92,00	104,00	CIEGA	287,00	293,00	CIEGA
104,00	105,50	FILTRO	293,00	296,00	FILTRO
105,50	111,50	CIEGA	296,00	320,00	CIEGA
111,50	114,50	FILTRO	320,00	323,00	FILTRO
114,50	126,50	CIEGA	323,00	329,00	CIEGA
126,50	129,50	FILTRO	329,00	332,00	FILTRO
129,50	141,50	CIEGA	332,00	338,00	CIEGA
141,50	144,50	FILTRO	338,00	341,00	FILTRO
144,50	162,50	CIEGA	341,00	365,00	CIEGA
162,50	164,00	FILTRO	365,00	368,00	FILTRO
164,00	188,00	CIEGA	368,00	386,00	CIEGA
188,00	191,00	FILTRO	386,00	389,00	FILTRO
191,00	197,00	CIEGA	389,00	419,00	CIEGA
197,00	200,00	FILTRO	419,00	420,50	FILTRO
200,00	206,00	CIEGA	420,50	438,50	CIEGA
206,00	209,00	FILTRO	438,50	441,50	FILTRO
209,00	233,00	CIEGA	441,50	453,50	CIEGA
233,00	236,00	FILTRO	453,50	458,00	FILTRO
236,00	242,00	CIEGA	458,00	482,00	CIEGA
242,00	243,50	FILTRO	482,00	485,00	FILTRO
243,50	249,50	CIEGA	485,00	491,00	CIEGA
249,50	252,50	FILTRO	491,00	492,50	FILTRO
			492,50	510,50	CIEGA

3.13. Datos de la red de distribución y cálculo de parámetros de seguridad.

Con los datos obtenidos de la red de distribución se realizarán los cálculos de pérdida de carga generados por el transporte del agua, tanto en la tubería de impulsión como en la tubería que transporta el agua al depósito.

Tabla 3 Datos de la red de distribución

DATOS RED DE DISTRIBUCION	
Depósito	5.000 m ³
Cota sondeo	360 msnm
Cota depósito	400 msnm
Distancia boca sondeo a deposito	1.000 m
Diámetro tubería de impulsión en pozo	250 mm
Diámetro tubería de impulsión boca pozo-depósito	500 mm
Material tubería de impulsión pozo	Acero galvanizado
Material tubería impulsión boca pozo-depósito	Fundición dúctil

De igual manera con esta información, previo al análisis del tiempo de bombeo y caudales de explotación, se realiza un análisis de velocidad y caudal máximo que podrá tener el agua en las dimensiones de la tubería de impulsión, considerando las recomendaciones establecidas en la Normativa para redes de Abastecimiento Versión 2012 de la empresa Canal Isabel II.

Velocidad máxima del agua:

De acuerdo a las recomendaciones realizadas por la normativa para la determinación de la velocidad máxima en un sistema de abastecimiento de bombes, se aplica la expresión de Mougny-Manning:

$$V = 1,5 * \frac{0,013}{n} * \sqrt{(ID + 0,05)}$$

Donde:

V = Velocidad máxima de circulación del agua (m/s).

ID = Diámetro interior de la conducción (m) en este caso la tubería de impulsión equivalente a un diámetro de 0,25 m.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning, para nuestro caso un valor de 0,008 (ver Tabla 4)

Tabla 4 Coeficiente de rugosidad para el cálculo de pérdida de carga (Fuente Normativa para redes de abastecimiento, Canal Isabel II)

	Rugosidad absoluta k (mm)		Manning n		Hazen-Williams C	
	nueva	en servicio	nueva	en servicio	nueva	en servicio
Fundición	0,100	0,200	0,012	0,017	130	100
Hormigón	0,300	3,000	0,013	0,017	140	110
Acero	0,030	0,100	0,008	0,011	120	90
PE	0,005	0,030	0,007	0,009	150	140
PVC-O	0,003	0,060	0,007	0,009	150	140
PRFV	0,030	0,060	0,009	0,010	110	100

Considerando que el material de la tubería de impulsión del pozo es de acero y que el diseño del sistema de bombeo recién será implementado, se toma como factor de Manning el valor de 0,008 para una tubería de acero (nueva).

Luego de reemplazar los datos en la expresión mencionada anteriormente se obtiene que la velocidad máxima del agua recomendada para los diámetros establecidos es de un total de 1,33 m/seg.

En base a este resultado se realiza el cálculo del caudal máximo que podría pasar por la tubería de impulsión, aplicando la siguiente expresión establecida en la normativa mencionada anteriormente:

$$Q_{max} = S * V = \frac{\pi * ID^2}{4} * V$$

Donde:

Q_{max} = Caudal máximo

S = Sección de la tubería de impulsión

V = Velocidad calculada previamente (1,33 m/seg.)

ID = Diámetro interno de la tubería (0,25m)

Al resolver la expresión se obtiene un caudal máximo para las dimensiones de la tubería de impulsión de 0,065 m³/seg, equivalente a un total de 234 m³/hr.

Con lo que podemos concluir que nuestros parámetros de seguridad para el sistema de distribución son los siguientes:

Tabla 5 Parámetros de seguridad

PARÁMETROS DE SEGURIDAD PARA LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN	
Velocidad Máxima	1,33 m/seg
Caudal Máximo	234 m ³ /hr

3.2. Caracterización de captación

El primer paso para continuar con nuestro análisis es realizar la caracterización de la captación para la demanda de agua establecida. Para realizar este cálculo se toma como referencia las dotaciones establecidas en el Plan Hidrológico del Duero aprobado mediante Real Decreto 1/2016 del 8 de enero el cual nos recomienda las siguientes dotaciones:

Tabla 6 Datos referenciales para dotaciones de agua a poblaciones (Fuente Plan Hidrológico del Duero R.D. 1/2016 del 8 de enero).

Población abastecida por el sistema	Dotaciones l/hab/día		
	Alta	Media	Baja
Menos de 10.000	280	250	220
De 10.000 a 50.000	310	280	250
De 50.000 a 250.000	360	330	300
Más de 250.000	410	380	350

Para nuestro caso de estudio se decide tomar una dotación de 250 Litros/hab./día, ya que con esta dotación se estaría considerando el crecimiento poblacional hasta en un 50% donde la población llegaría hasta un total de 10.000 habitantes. En tal sentido se estaría considerando el crecimiento poblacional en el cálculo de los diferentes escenarios para satisfacer la demanda y en los dimensionamientos de las equipaciones electromecánicas.

Continuando con el cálculo, se realiza la multiplicación del número total de habitantes por la dotación seleccionada, obteniendo como resultado el caudal mínimo requerido para poder satisfacer la demanda de agua:

$$Q = 5000 \text{ habitantes (hab.)} \times 250 \text{ Litros/hab./día} = 1.250.000 \text{ L/día}$$

Que es equivalente a un total de 52,1 m³/hr.

3.3. Escenarios de funcionamiento y dimensionamiento de bombas.

3.3.1. Determinación de caudal de explotación y horarios de bombeo

En base al dato obtenido del caudal mínimo requerido para satisfacer la demanda de agua de la comunidad, se procede a establecer 4 escenarios con diferentes horarios de bombeo, caudales de explotación, días de funcionamiento y volumen acumulado en el depósito.

Para el primer escenario de bombeo se considera un caudal constante con un tiempo de bombeo de 24 horas y todos los días del año, donde el depósito únicamente funciona como zona de tránsito o bypass del agua extraída del pozo y demandada de la población.

A partir del segundo escenario de bombeo, se determina un supuesto donde se simula que la demanda comienza cuando el depósito de 5000 m³ se encuentra totalmente lleno, esta cantidad de volumen acumulado puede abastecer por cuatro días a la población hasta quedar completamente vacío, para nuestro análisis se decide dejar únicamente un margen de un día, ya que al segundo día el depósito se encuentra a la mitad de su capacidad, dejando una lámina de agua de 2500 m³ dentro del mismo la cual mantenemos como un volumen de resguardo por seguridad en caso de emergencias, incendios o mantenimiento que se deba realizar a la red.

Por otro lado, también se consideró los diferentes periodos tarifarios establecidos en la *Ley 54/1997 de 27 de noviembre del Sector Eléctrico* España, donde se consideró determinar los horarios de funcionamiento de la bomba en los periodos con un menor coste energético.

En tal sentido, primero se determina un caudal máximo de bombeo donde se pueda extraer la mayor cantidad de agua para llenar el depósito, únicamente en los periodos tarifarios más económicos y con el menor tiempo de funcionamiento del equipo de bombeo.

Luego para los siguientes dos escenarios se determinan caudales de extracción más intermedios con tiempos de bombeo más extendidos y que abarcan más horas del periodo tarifario con un coste medio de energía.

Tabla 7 Escenarios de bombeo para la captación de agua.

ESCENARIOS	CAUDAL (l/s)	HORAS DE FUNCIONAMIENTO	PERIODO DE BOMBEO	VOLUMEN
				ACUMULADO EN DEPÓSITO (m ³)
Escenario 01	15	24	Todos los días	0
Escenario 02	46	15	Cada 1 días	455.910
Escenario 03	53	13	Cada 1 días	455.005
Escenario 04	63	11	Cada 1 días	454.995

3.3.2. Calculo de altura manométrica para los diferentes escenarios de bombeo

Una vez calculado el caudal de cada escenario para el abastecimiento, se procede a realizar el cálculo de la altura manométrica. La cual viene a ser la altura que deberá vencer un grupo de electrobomba para elevar el caudal calculado anteriormente a lo largo de una instalación de tuberías hasta llegar al depósito, y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$H_m = ND + J_{Tub.Imp.} + DG + J_{Tub.Ext.}$$

Donde:

H_m = Altura Manométrica.

ND = Nivel dinámico del acuífero

$J_{Tub.Imp.}$ = Pérdidas de carga en la tubería de impulsión.

DG = Desnivel geométrico entre la cota del pozo y del depósito (en nuestro caso 40m)

$J_{Tub.Ext.}$ = Perdidas de carga en la tubería externa, boca de pozo – depósito.

Primero comenzamos realizando el cálculo del nivel dinámico del acuífero para cada escenario de bombeo, el cual se calcula de la siguiente manera.

Realizamos la división del caudal de explotación entre el caudal específico del pozo conseguido en los datos del sondeo pozo, obteniendo como resultado el nivel del descenso por bombeo en el pozo.

$$\text{Descenso por Bombeo} = \frac{\text{Caudal de Explotación}}{\text{Caudal específico del pozo}}$$

Luego para obtener el dato final de la profundidad a la que se encuentra el nivel dinámico del acuífero en el pozo, realizamos la suma del descenso por bombeo obtenido más el nivel estático del acuífero.

Como siguiente paso, realizamos el cálculo de la profundidad de instalación de la bomba, para este cálculo tomamos como referencia la profundidad a la que se encuentra el nivel dinámico en cada escenario de bombeo y la columna de entubación del pozo, con estos datos determinamos una profundidad de instalación de la bomba, donde la misma se encuentre ubicada a una distancia por debajo del nivel dinámico no menor de 5 metros y en una zona de la columna de entubación donde la bomba aspire agua por debajo del motor, es decir una zona donde la zona filtrante se encuentre por debajo del motor de la bomba de agua. Todo esto con el objeto de que el motor del equipo electrobomba mantenga una constante refrigeración con el agua extraída del acuífero.

A continuación, se muestran los datos obtenidos de descensos por bombeo, nivel dinámico del acuífero en el pozo y profundidad de instalación de la bomba.

Tabla 8 Datos de descenso, nivel dinámico del acuífero y profundidad de instalación

ESCENARIOS	DESCENSO POR BOMBEO (m)	NIVEL DINAMICO EN EL POZO (m)	PROFUNDIDAD DE INSTALACION (m)
Escenario 1	19,10	139,10	149
Escenario 2	57,87	177,87	183
Escenario 3	66,77	186,77	193
Escenario 4	78,91	198,91	209

Previo al cálculo de la altura manométrica, debemos obtener el dato de las pérdidas de carga en las diferentes tuberías del sistema de captación y distribución al depósito. Para lo cual se considera las recomendaciones establecidas en la Normativa para redes de Abastecimiento Versión 2012 de la empresa Canal Isabel II, donde recomienda realizar los

cálculos de pérdida de carga mediante la aplicación de la formula universal de Darcy-Weisbach:

$$J = \frac{\Delta H_C}{L} = \frac{f}{ID} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

J = Pérdida de carga continua, por unidad de longitud (m/m).

ΔH_C = Pérdida de carga continua (m).

L = Longitud del tramo (m).

ID = Diámetro interno del tubo (m).

V = Velocidad del agua (m/s).

g = Aceleración de la gravedad (9,80655 m/s²)

f = Coeficiente de pérdida de carga por unidad de longitud o coeficiente de fricción (adimensional).

Para el cálculo del coeficiente de pérdida de carga por unidad de longitud debe obtenerse mediante la expresión de Colebrook-White (1939):

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{k}{3,71 * ID} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right) \right]^2}$$

Donde:

k = Rugosidad absoluta de la tubería (m)

Re = Número de Reynolds (adimensional)

Considerando que la ecuación se presenta en forma implícita y que su solución requiere el empleo de métodos numéricos, lo que complica el cálculo de la misma, se procede a

realizar el cálculo con la ayuda de una hoja Excel, donde se obtiene los siguientes resultados para las dos tuberías en análisis

Tabla 9 Valor del Coeficiente "f" calculado para las tuberías.

Escenarios	Valor Coeficiente "f"
Tubería de impulsión	0,02279
Tubería Pozo - Depósito	0,02354

Luego procedemos a realizar el cálculo de la velocidad del agua en las tuberías para el caudal de abastecimiento establecido, mediante la siguiente expresión mencionada anteriormente:

$$Q = S * V = \frac{\pi * ID^2}{4} * V$$

Donde al despejar la velocidad de dicha expresión se obtienen los siguientes resultados para los diferentes escenarios de bombeo, es válido mencionar que ninguno de los datos obtenidos supera la velocidad máxima de seguridad establecida para las tuberías de impulsión y distribución.

Tabla 10 Velocidad del agua para los diferentes escenarios de bombeo

Escenarios	Velocidad (m/seg)
Escenario 1	0,311
Escenario 2	0,943
Escenario 3	1,088
Escenario 4	1,286

Una vez obtenidos todos los datos solicitados por la fórmula para la obtención de las pérdidas de carga, se procede a realizar el cálculo tanto para la tubería de impulsión como de la tubería que transporta el agua desde el pozo al depósito, donde se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 11 Pérdidas de carga en tuberías para los cuatro escenarios definidos.

Escenarios	Longitud tubería de impulsión (m)	Perdidas de Carga total en tubería de impulsión (m)	Perdida de carga Total tubería externa (J * 1000m) (m)
Escenario 1	149	0,067	0,233
Escenario 2	183	0,756	2,135
Escenario 3	193	1,061	2,843
Escenario 4	209	1,606	3,970

A continuación, se procede a realizar el cálculo de la altura manométrica, en base a la fórmula mencionada anteriormente, para los diferentes escenarios de bombeos y se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 12 Resultados de alturas manométricas para los diferentes escenarios

Escenarios	Altura Manométrica (m)
Escenario 1	179
Escenario 2	221
Escenario 3	231
Escenario 4	244

3.3.3. Selección de Grupo de bombeo para cada escenario

Para la explotación de aguas subterráneas, mayormente son utilizadas las bombas centrífugas, las cuales son máquinas que realizan la transformación de la energía mecánica en energía hidráulica por medio de un impulsor o turbina que cuenta con un orificio para el ingreso del líquido.

En nuestro caso utilizaremos un grupo de bombeo de tipo motobomba sumergible, la cual consiste en que tanto el motor eléctrico como el cuerpo de la bomba funcionan conjuntamente por debajo del nivel del agua. Esta clase de equipo es alimentado mediante corriente eléctrica por medio de un cable conductor que va unido a los terminales del motor, como se puede observar en la figura 2.

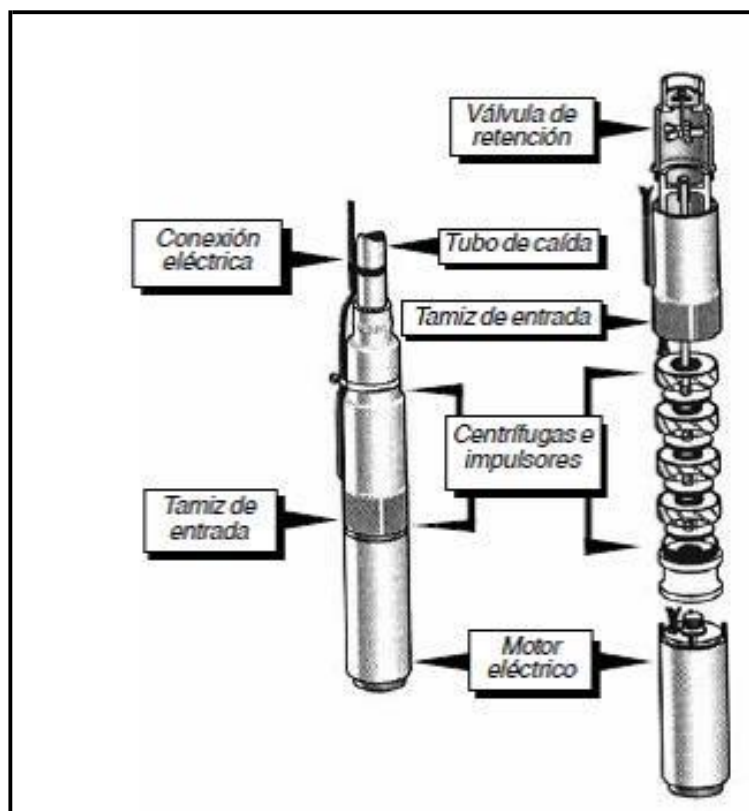


Figura 2 Grupo Electrobomba, recuperado de www.franklinlinkmx.wordpress.com

La selección del equipo de bombeo para la explotación en cada tipo de escenario se realizó introduciendo los datos calculados anteriormente de caudal de explotación y altura manométrica, en los programas de selección de bombas en las páginas de internet de las diferentes empresas que comercializan estos equipos. Para este caso se utilizaron las bombas de la empresa INDAR y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13 Datos técnicos de los grupos de bombeo seleccionados

Escenarios	Grupo de Bombeo	Rendimiento	Potencia	Rendimiento	Factor	Tensión
		Hidráulico	Nominal	Mecánico	de	Nominal
		(%)	(kW)	(%)	Potencia	(V)
Escenario 1	SP-UGP-0820-07 ML-18-3/068	72,5	55	84	0,82	380
Escenario 2	SP-UGP-1010-11 ML-25-3/100	79,6	179	88	0,84	380
Escenario 3	SP-UGP-1020-10 ML-25-3/115	80	201	88	0,84	380
Escenario 4	SP-UGP-1020-13 ML-29-1/120-NC	77,4	255	86	0,79	380

3.4. Consumo energético y sistema de tarifa eléctrica

En este punto del documento se realiza el cálculo del consumo energético requerido por cada escenario de bombeo para extraer agua, considerando tanto los parámetros hidráulicos como mecánicos de cada uno de ellos.

3.4.1. Cálculo de consumo energético

Primero realizamos el cálculo de la potencia teórica para cada escenario, este tipo de potencia nos indica cual es la energía requerida para elevar el agua a una determinada altura, que en nuestro caso sería la altura manométrica calculada para cada escenario, dicha potencia se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$P_b = \rho * g * Q * H_m$$

P_b = Potencia teórica de la bomba en Vatios (V)

ρ = Densidad del fluido, para nuestro caso al trabajar con agua es 1000 Kg/m³

g = Aceleración de la gravedad, normalmente se adopta 9.81 m/s²

Q = Caudal en m³/s

H_m = Altura manométrica

En base a la potencia teórica calculada se procede a realizar dos cálculos más donde la misma se divide entre el rendimiento hidráulico y mecánico, los cuales son característicos de cada grupo de bombeo y proporcionados por el fabricante en la ficha técnica de cada uno de ellos, como podemos observar en la tabla 13. La primera división realizada entre el rendimiento hidráulico nos indica cual es la potencia requerida por la bomba para poder elevar el agua. Luego tenemos el cálculo de la potencia absorbida por el motor utilizando el rendimiento mecánico del grupo de bombeo, este tipo de potencia nos indica cual es la energía total demandada de la red eléctrica por el motor del grupo de bombeo, (ver figura 3).

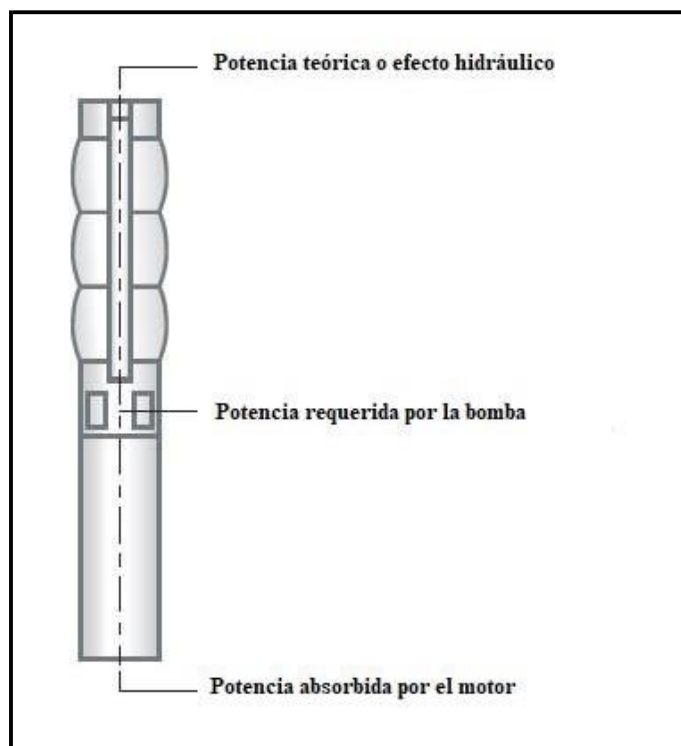


Figura 3 Definiciones de potencia, modificado de GRUNDFOS manual de Ingeniería SP.

A continuación, se puede observar un resumen de los cálculos realizados de las diferentes potencias para cada escenario de bombeo:

Tabla 14 Potencias calculadas para cada escenario de bombeo.

Escenarios	Potencia Teórica (kW)	Potencia requerida por la bomba (kW)	Potencia absorbida por el motor (kW)
Escenario 1	26,89	37,09	45,23
Escenario 2	100,27	126,92	151,09
Escenario 3	120,89	151,11	171,71
Escenario 4	151,39	195,59	227,43

3.4.2 Selección de tarifa eléctrica

Para el presente trabajo se toma como principal referencia los sistemas tarifarios establecidos en la *Ley 54/1997 del Sector Eléctrico* de la normativa del estado Español. Esta normativa presenta diferentes tarifas para trabajar en alta o baja tensión las cuales pueden estar divididas en 2, 3 o 6 periodos tarifarios (ver tabla 15).

Tabla 15 Tarifas eléctricas establecidas en el Real Decreto 1164/2001

Tarifas Eléctricas						
Baja Tensión	Potencia Contratada	Periodos Tarifarios	Alta Tensión	Potencia Contratada	Tensión	Periodos Tarifarios
Tarifa 2.0A	Hasta 10 kW	sin periodos	Tarifa 3.1A	≤ 450 kW	≥ 1 KV y < 36 KV	3 periodos
Tarifa 2.0DHA	Hasta 10 kW	2 periodos	Tarifa 6.1A	≤ 450 kW	≥ 1 KV y < 30 KV	6 periodos
Tarifa 2.0DHS	Hasta 10 kW	3 periodos	Tarifa 6.1B	≤ 450 kW	≥ 30 KV y < 36 KV	6 periodos
Tarifa 2.1A	Entre 10 y 15 kW	sin periodos	Tarifa 6.2	≤ 450 kW	≥ 36 KV y < 72 KV	6 periodos
Tarifa 2.1DHA	Entre 10 y 15 kW	2 periodos	Tarifa 6.3	≤ 450 kW	$\geq 72,5$ KV y < 145 KV	6 periodos
Tarifa 2.1DHS	Entre 10 y 15 kW	3 periodos	Tarifa 6.4	≤ 450 kW	≥ 145 KV	6 periodos
Tarifa 3.0A	Superior a 15 kW	3 periodos	Tarifa 6.5	≤ 450 kW	Conexiones internacionales	6 periodos

Para nuestro análisis realizaremos una comparación del coste de consumo energético de los escenarios de bombeo en las tarifas 3.0A de baja tensión y la tarifa 3.1A de alta tensión. La tarifa 3.0A de baja tensión permite contratar una potencia que debe ser mayor a 15 KW y se encuentra dividida en 3 periodos tarifarios que varían con el horario de invierno y verano; periodo punta (con la tarifa eléctrica más elevada), periodo llano (con una tarifa eléctrica media) y el periodo valle (con la tarifa eléctrica más baja). Cada periodo cuenta con diferentes horarios y tarifas, tanto como para el consumo energético y la potencia contratada anualmente, en la siguiente tabla se puede observar más detalladamente los parámetros mencionados anteriormente para la tarifa 3.0A.

Tabla 16 Precios y horarios de la tarifa eléctrica 3.0A (Baja Tensión) para el año 2018.

Potencia	Periodos	Horas		Tarifa Eléctrica (€)	
		Invierno	Verano	Tarifa	Tarifa Energía
				Potencia (kW/€/año)	kW/h/€
>15 kW	Valle (P1)	00:00 - 08:00	00:00 - 08:00	16,291555	0,0046700
	Llano (P2)	08:00 - 18:00	08:00 - 09:00	24,437330	0,0125750
		22:00 - 24:00	13:00 - 24:00		
Punta (P3)	18:00 - 22:00	09:00 - 13:00	40,728885	0,0187620	

Luego tenemos la tarifa 3.1A de alta tensión, esta tarifa nos permite contratar una potencia no mayor a 450 kW y distribuye una tensión que se encuentra entre los 1 KV y 36 KV. Al igual que la tarifa mencionada en el párrafo anterior presenta 3 periodos tarifarios, con la única diferencia que la tarifa 3.1A considera días festivos y fines de semana donde únicamente divide estos días en dos periodos como ser los periodos tarifarios valle y llano.

Tabla 17 Precios y horarios de la tarifa eléctrica 3.1A (Alta Tensión) para el año 2018.

Potencia ≤ 450 kW	Periodos	Horas (Lunes a Viernes)		Horas (Fines de semana y Festivos)	Tarifa Eléctrica (€)	
		Invierno	Verano		Tarifa	Tarifa
					Potencia (kW/€/ año)	Energía kW/h/€
Tensión ≥ 1 KV y < 36 KV	Valle (P1)	00:00 - 08:00	00:00 - 08:00	00:00 - 18:00	8,367731	0,007805
	Llano (P2)	08:00 - 18:00	08:00 - 09:00	18:00 - 24:00	36,490689	0,012754
		22:00 - 24:00	13:00 - 24:00			
Punta (P3)	18:00 - 22:00	09:00 - 13:00	-	59,173468	0,014335	

Considerando los periodos establecidos en las tarifas eléctricas se distribuyen las horas de bombeo previamente definidas para los escenarios, entre los periodos de Valle, Llano y Punta, donde, siguiendo con el objetivo de este trabajo, se prioriza establecer el funcionamiento del grupo de bombeo principalmente en los periodos que presentan las menores tarifas, con el objeto de minimizar los costes de operación de la energía consumida por nuestras bombas, con excepción del escenario 1 para el cual se establece un tiempo de bombeo de 24 horas ya que se trabaja con un caudal mínimo de extracción de

agua. A continuación, se muestran las horas de bombeo distribuidas de acuerdo a los periodos de la tarifa eléctrica.

Tabla 18 Distribución horas de bombeo en los periodos de las tarifas

Periodos	Escenario 1 (Horas de Bombeo)	Escenario 2 (Horas de Bombeo cada 1 día)	Escenario 3 (Horas de Bombeo cada 1 día)	Escenario 4 (Horas de Bombeo cada 1 día)
Valle	8	8	8	8
Llano	12	7	5	3
Punta	4	0	0	0
Total Horas	24	15	13	11

3.4.3. Calculo de Potencia a Facturar

Una vez determinados los horarios de bombeo, procedemos a realizar los cálculos de costes por el consumo energético en base a los parámetros establecidos en la normativa.

Para obtener los datos de la potencia total a facturar, se empleó la siguiente expresión establecida en la normativa:

$$FP = \sum_{i=1}^{i=n} t_{pi} * P_{fi}$$

Donde:

FP = Potencia total a Facturar

P_{fi} = Potencia a facturar en el periodo tarifario i , expresada en KW.

t_{pi} = Precio anual del término de potencia del periodo tarifario i .

Para este cálculo se debe considerar lo establecido en el Artículo 9 Punto 2 Tarifas 3.0A y 3.1A inciso c) de la *Ley 54/1997 de 27 de noviembre del Sector Eléctrico*, donde menciona lo siguiente “Si la potencia máxima demandada en el periodo a facturar fuere inferior al 85 por 100 de la potencia contratada, la potencia a facturar (P_{fi}) será igual al 85 por 100 de la citada potencia contratada”.

Para establecer la potencia contratada de cada escenario se toma como referencia la potencia absorbida por el motor calculada previamente, ya que esta nos indica cual será el consumo energético de cada escenario de bombeo. A dicha potencia se aumenta un margen de 20 kW, considerando que este consumo extra vendría dado por el demandado por las diferentes conexiones eléctricas dentro de la estación de bombeo, como ser , iluminación, cuadros de manejo, control y protección u otros equipos que deban ser conectados para reparaciones.

En las siguientes tablas se muestran los resultados del cálculo de la potencia contratada para cada escenario tanto en los periodos de baja tensión como para los de alta tensión.

Tabla 19 Calculo de Potencia a Facturar de los escenarios en tarifa 3.0 de baja tensión.

	Escenarios	Potencia Contratada (kW)	Tarifa punta (€)	Tarifa llano (€)	Tarifa valle (€)	Total anual (€)	Total mensual (€)
Tarifa 3.0A	Escenario 1	65	40,73	24,44	16,29	5313,20	442,77
	Total		2656,60	1593,96	1062,64		
	Escenario 2	164	40,73	24,44	16,29	6659,31	554,94
	Total		0,00	3995,59	2663,72		
	Escenario 3	192	40,73	24,44	16,29	7808,24	650,69
	Total		0,00	4684,94	3123,30		
	Escenario 4	247	40,73	24,44	16,29	10079,29	839,94
	Total		0,00	6047,57	4031,72		

Tabla 20 Calculo de Potencia a Facturar de los escenarios en tarifa 3.1 A de alta tensión.

	Escenarios	Potencia	Tarifa	Tarifa	Tarifa	Total anual	Total
		Contratada (kW)	punta (€)	llano (€)	valle (€)	(€)	mensual (€)
Tarifa 3.1A	Escenario 1	65	59,17	36,49	8,37	6785,63	565,47
	Total		3859,67	2380,16	545,80		
	Escenario 2	164	59,17	36,49	8,37	7334,50	611,21
	Total		0,00	5966,35	1368,15		
	Escenario 3	192	59,17	36,49	8,37	8599,93	716,66
	Total		0,00	6995,73	1604,20		
	Escenario 4	247	59,17	36,49	8,37	11101,24	925,10
	Total		0,00	9030,45	2070,79		

Considerando que la tarifa 3.1A trabaja con alta tensión que varía entre los $\geq 1KV$ y $< 36 KV$, es necesario que los escenarios cuenten con un transformador para convertir la tensión eléctrica recibida de la red a la tensión adecuada para el grupo de bombeo.

Es importante tomar en cuenta que cada escenario proyectado presenta bombas con diferentes potencias, por lo cual el dimensionamiento del transformador dependerá de dicha potencia y de los parámetros de tensión que presenta cada grupo de bombeo. En tal sentido se realiza el cálculo de la potencia demandada en KVA por cada escenario de trabajo con la siguiente expresión:

$$P (KVA) = \frac{Potencia Mecánica}{\cos \Psi}$$

Donde:

Potencia Mecánica = Potencia Mecánica del grupo de bombeo.

$\cos \Psi$ = Coseno de Ψ cada grupo de bombeo.

Una vez realizado el cálculo para cada escenario donde se implementará el transformador, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 21 Datos Transformador para escenarios en alta tensión.

Escenarios	Datos Grupo de Bombeo				Datos Transformador	
	Tensión (V)	Cos Ψ	Potencia Absorbida por el motor(kW)	Potencia (KVA)	Tensión Asignada KV	Potencia Transformador (KVA)
Escenario 1	380	0,82	45,23	55,15	20 - 24	100
Escenario 2	380	0,81	151,09	186,53	20 - 24	250
Escenario 3	380	0,84	171,71	204,42	20 - 24	250
Escenario 4	380	0,79	227,43	287,89	20 - 24	400

344. Cálculo de Energía consumida a facturar

Considerando lo mencionado en la normativa se aplica la siguiente fórmula para el cálculo de la energía activa consumida:

$$FE = \sum_{i=1}^{i=n} E_i * t_{ei}$$

Donde:

FE = Energía activa

E_i = Energía consumida en el periodo tarifario i , expresada en kW/h.

t_{ei} = Precio del término de energía del periodo tarifario i .

Para obtener la energía consumida de cada escenario, se realiza el cálculo a partir de la potencia absorbida por el motor de cada equipo de bombeo calculada anteriormente, ya que esta potencia nos indica cual será el consumo energético demandado por el motor a la red de electrificación por cada hora de trabajo, al realizar la impulsión del agua desde el acuífero a la superficie.

Por otro lado, para poder determinar el coste y consumo energético total, se realiza una simulación anual del consumo energético de los escenarios de bombeo, considerando las horas y días de funcionamiento mencionados anteriormente. Donde a diferencia del escenario 01 en el cual la bomba trabajará 24 horas al día los 365 días del año, para los tres escenarios restantes se calcula el consumo energético para un régimen de bombeo con un

día de descanso gracias a la lámina de agua de reserva que conservamos en el depósito, que nos da un total de 182 días de funcionamiento de la bomba al año (Ver Anexo I).

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de la energía consumida y el costo energético para cada escenario de bombeo para la tarifa 3.0 de baja tensión. Considerando que los consumos mensuales son variables, en las siguientes tablas se dan los datos de consumo energético y coste anual, para presentar tablas más resumidas.

Tabla 22 Calculo del consumo de energía para Tarifa 3.0.

	Escenarios	Periodos	Energía consumida (kW/día)	Tarifa Eléctrica (€)	Total diario (€)	Total Energía	
						Consumida anual (kW/hr/año)	Total anual (€)
Tarifa 3.0A	Escenario 1	Punta	180,91	0,018762	3,39	396.183,43	4.346,59
		Energía	542,72	0,012575	6,82		
		Consumida (45,23 kW/h)	Valle	361,81	0,004670		
	Escenario 2	Punta	0,00	0,018762	0,00	391.764,22	3.274,76
		Energía	1004,52	0,012575	12,63		
		Consumida (143,50 kW/h)	Valle	1148,03	0,004670		
	Escenario 3	Punta	0,00	0,018762	0,00	406.272,09	3.132,51
		Energía	858,56	0,012575	10,80		
		Consumida (171,71 kW/h)	Valle	1373,70	0,004670		
	Escenario 4	Punta	0,00	0,018762	0,00	455.400,55	3.108,52
		Energía	682,29	0,012575	8,58		
		Consumida (227,43 kW/h)	Valle	1819,44	0,004670		

Para el caso del consumo energético en la tarifa 3.1A de alta tensión se realiza el mismo cálculo considerando dentro de la simulación anual de funcionamiento, los días de bombeo que se realicen en fechas festivas y fines de semana, donde únicamente se trabaja con los periodos llano y valle.

Tabla 23 Calculo del consumo de energía para Tarifa 3.1 A

	Escenarios	Periodos	Energía consumida (kW/día)	Tarifa Eléctrica (€)	Total diario (€)	Total Energía	
						Consumida anual (kW/hr/año)	Total anual (€)
Tarifa 3.1 A	Escenario 1	Punta	180,91	0,014335	2,59	396.183,43	4.218,51
	Energía Consumida (44,15 kW/h)	Llano	542,72	0,012754	6,92		
		Valle	361,81	0,007805	2,82		
	Escenario 2	Punta	0,00	0,0143350	0,00	391.764,22	3.684,11
	Energía Consumida (143,50 kW/h)	Llano	1004,52	0,0127540	12,81		
		Valle	1148,03	0,0078050	8,96		
	Escenario 3	Punta	0,00	0,0143350	0,00	406.272,09	3.706,33
	Energía Consumida (171,71 kW/h)	Llano	858,56	0,0127540	10,95		
		Valle	1373,70	0,0078050	10,72		
	Escenario 4	Punta	0,00	0,0143350	0,00	455.400,55	3.979,19
	Energía Consumida (227,43 kW/h)	Llano	682,29	0,0127540	8,70		
		Valle	1819,44	0,0078050	14,20		

345. Cálculo de Energía Reactiva

La energía reactiva se asocia a todos los aparatos que precisan de una bobina para su funcionamiento, como ser maquinas industriales, bombas, ascensores, etc., este es un tipo de energía que absorben de la red algunos equipos eléctricos, pero que luego la devuelven, por lo cual la misma no genera un consumo, pero si debe ser generada y transportada a los equipos.

Este tipo de energía no produce un trabajo útil y es necesario neutralizarla y compensarla, todo esto provoca que las diferentes compañías generadoras de electricidad tengan que realizar una mayor inversión en todos sus equipos de generación eléctrica para la transformación y transporte de esta energía reactiva. Esta inversión genera unos costes adicionales que finalmente se encuentran reflejados en la facturación energética como penalizaciones en concepto de energía reactiva.

A continuación, realizamos el cálculo de energía reactiva, considerando los parámetros establecidos en la normativa. Primeramente, considerando que la *Ley 54/1997 de 27 de noviembre del Sector Eléctrico* nos establece un valor de $\cos \Psi < 0,95$, se procede a realizar el siguiente cálculo para obtener el valor de la energía reactiva en base al consumo energético anual.

Primero calculamos el valor del ángulo “ Ψ ” de la siguiente manera:

$$\cos \Psi = 0,95$$

$$\Psi = \cos^{-1} 0,95$$

$$\Psi = 18,1948^\circ$$

Por último mediante la aplicación de la siguiente expresión trigonométrica procedemos a realizar el cálculo para obtener los KVAR/mes:

$$\tan \Psi = \frac{KVAR}{KWH}$$

$$KVAR = \tan \Psi * KWH$$

Una vez realizados todos los cálculos se obtienen los siguientes resultados de energía reactiva para los 4 escenarios de trabajo en análisis.

Tabla 24 Resultados calculo energía reactiva para los diferentes escenarios

Escenarios	Energía Consumida año (KW)	33% de Energía Total (KW)	Energía Reactiva (KVAR/Mes)
Escenario 1	396.183,43	130.740,53	130.219,20
Escenario 2	391.764,22	129.282,19	128.766,67
Escenario 3	406.272,09	134.069,79	133.535,18
Escenario 4	455.314,64	150.253,83	149.654,68

Considerando que la *Ley 54/1997 del Sector Eléctrico* en su Artículo 9 Punto 3 menciona lo siguiente “*Este término se aplicará sobre todos los periodos tarifario, excepto en el periodo 3, para las tarifas 3.0A y 3.1A y en el periodo 6, para las tarifas 6, siempre que el consumo de energía reactiva exceda el 33 por 100 del consumo de activa durante el periodo de facturación.*”.

En tal sentido, se realizó el cálculo del 33% de la energía consumida en el mes por cada escenario y se comparó con el dato obtenido de la energía reactiva, donde se puede observar que en ningún caso la energía reactiva sobrepasa al 33% del consumo energético mensual. Por lo cual de acuerdo a lo establecido en la normativa no correspondería el pago por energía reactiva en ninguno de los escenarios de bombeo establecidos en la tabla 23.

3.5. Cálculo de costes de implementación de los diferentes escenarios de bombeo.

En este punto realizamos el cálculo de los costes necesarios para la implementación de un equipo de bombeo, donde tomamos en cuenta únicamente los costes de equipación del grupo electrobomba y la obra civil del mismo.

3.5.1. Costes de implementación para la obra civil

Dentro de los costes de obra civil vienen dados los siguientes equipamientos:

- Arqueta.- Toda la zona del final de la tubería de impulsión del pozo, con sus derivaciones a la tubería que transporta el agua del pozo hasta el depósito, al menos en la zona donde se encuentran ubicadas las válvulas de control y los equipamientos de medida, deben ir cubiertos con una arqueta o caseta que cubra toda la zona. Estas arquetas normalmente son construidas con un techo extraíble, que permiten su fácil retiro en caso de que se requiera la utilización de equipo pesado para la extracción de las tuberías o el equipo electrobomba.
- Depósito.- Dentro de los costes de obra civil, están incluidos la construcción del depósito de agua, que cumplirá la función de regulador del agua extraída del pozo y la demandada por la población, el cual tendrá una capacidad de 5000 m³.
- Casetas de alta y baja tensión.- Toda la equipación para los centros de alta y baja tensión como ser cuadros de control, transformadores y cualquier tipo de instalación para el control y protección de las bombas, deben estar dentro de casetas diseñadas especialmente para la protección de todos estos equipos.
- Encerramiento.- Todas estas construcciones deben estar ubicadas dentro de un terreno encerrado con ingreso restringido, para precautelar cualquier tipo de daño que se pueda dar a los equipos o posibles contaminaciones al acuífero en la zona donde se realiza la extracción del agua.

En la tabla 25 se muestran los costes estimados para cada obra civil necesaria para una zona de captación de agua subterránea.

Tabla 25 Costes obra civil.

Obra Civil	Cantidad (Por escenario)	Precio (€)	Precio Total (€)
Arqueta	1 Ud.	5.000	5.000
Depósito	1 Ud.	900.000	900.000
Casetas de alta y baja tensión	1 Ud.	12.000	12.000
Encerramiento	2000 m ²	64 €/ m2	128.000
Total			1.045.000

352. Costes de implementación para las equipaciones de los grupos de bombeo.

El siguiente coste a determinar es el de los costes de las equipaciones necesarias para implementar un equipo de bombeo. En la siguiente figura podemos observar las más fundamentales con las que debe contar un pozo de captación de agua subterránea.

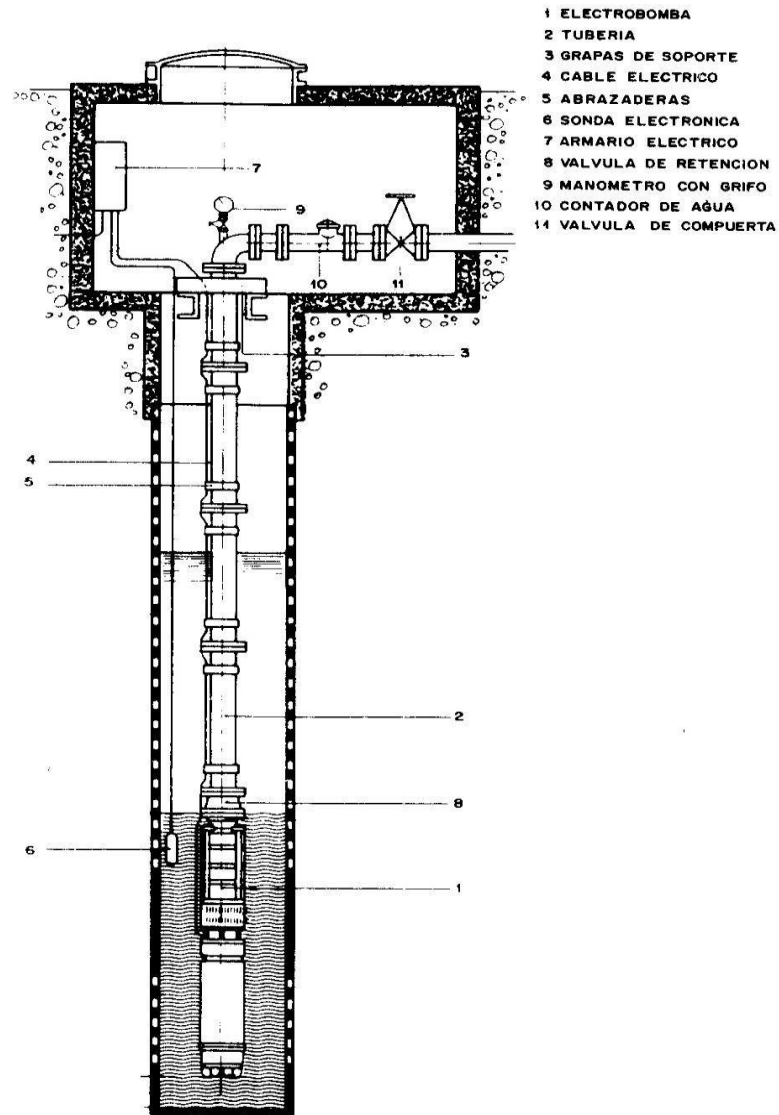


Figura 4 Esquema de una instalación de bombeo, adaptado de Manual Bombas ITUR, 1987.

Para el cálculo de costes de equipación se toman precios referenciales de las diferentes equipaciones. Dentro de los costes se presentan dos tipos, los primeros que tomamos como permanentes que vienen a ser las equipaciones que no varían en precio entre los diferentes escenarios de bombeo y se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 26 Costes fijos de implementación.

Ítem	Cantidad (Por escenario)	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
Caudalimetro	1 Ud.	2900	2.900,00
Cable de alta tensión	10 m	20,56 €/m	205,60
Manómetro con grifo	1 Ud.	15	15,00
Manómetro electrónico	1 Ud.	90	90,00
Tubería exterior (Pozo - Deposito)	1000 m	280 € /m	280.000,00
Sonda Electrónica	1 Ud.	1200	1.200,00
Válvula de Retención	1 Ud.	1200	1.200,00
Válvula de compuerta	1 Ud.	9500	9.500,00

Luego el segundo grupo viene formado por los materiales con costos variables, los cuales dependen de la profundidad de la instalación del grupo de bombeo, de la potencia requerida y si el escenario se encuentra en baja o alta tensión. En las siguientes tablas se muestran los precios referenciales de las tuberías de distribución y equipos electromecánicos para el aprovechamiento.

El primer coste variable viene dado para los cables de conexión al grupo electrobomba dentro del pozo, todas las bombas vienen con una extensión de 8 metros de cable al adquirirlas. Por lo cual la cantidad de cable a implementar dependerá de la profundidad a la que se encuentra la bomba y la distancia a la que se encuentra la zona de alimentación de la bomba, en nuestro caso estimaremos una cantidad extra de 5 metros para la conexión de la bomba a la zona de alimentación eléctrica. También otro factor variante en los cables de conexión a la bomba es la potencia, ya que mientras mayor sea la potencia demandada por la bomba mayor tendrá que ser el diámetro del cable de conexión para poder distribuir la potencia demandada, generando un incremento en su coste total.

Tabla 27 Costes cable de alimentación del grupo de bombeo

Escenario	Longitud de cable requerido (m)	Precio (€/m)	Coste total (€)
Escenario 01	146	3,95	577,08
Escenario 02	180	7,95	1.430,89
Escenario 03	190	11,50	2.182,40
Escenario 04	206	15,73	3.239,01

Luego tenemos el coste dado por las tuberías de la zona de impulsión del pozo, ya que en los escenarios que hemos proyectado se extraen diferentes caudales, los cuales generan diferentes descensos en el nivel dinámico del pozo por lo cual se necesitan diferentes longitudes de tubería para poder instalar el equipo de bombeo a profundidades donde su funcionamiento sea el más adecuado. En la siguiente tabla se muestran los costes calculados para las diferentes longitudes de tubería requeridos.

Tabla 28 Precios tubería de impulsión del sistema bombeo

Escenario	Longitud de Tubería (m)	Precio (€/m)	Coste total (€)
Escenario 01	149	208	31.012,22
Escenario 02	183	208	38.037,28
Escenario 03	193	208	40.097,06
Escenario 04	209	208	52.228,30

El siguiente coste variable dentro de la implementación de los escenarios de bombeo viene dado por los precios de los equipos electromecánicos de bombeo, los cuales, al estar dimensionados para diferentes caudales de explotación y alturas manométricas, varían en tamaño, consumo energético y precios.

Como podemos apreciar en la siguiente tabla el menor precio del equipo de bombeo viene dado para el primer escenario, ya que es el que presenta el menor caudal de explotación y la menor altura manométrica para la elevación del agua. Por otro lado, el escenario número cuatro al estar proyectado con el caudal máximo de explotación del acuífero y una mayor altura manométrica, presenta el costo más elevado ya que el equipo de bombeo debe ser de

mayor dimensión y potencia que el de escenario uno para poder abastecer con las proyecciones de caudal y alturas proyectadas en el mismo.

Tabla 29 Precios grupos de bombeo para cada escenario

Escenarios	Grupo de Bombeo	Tamaño	Precio (€)
Escenario 1	SP-UGP-0810-09 ML-18-3/060	6 pulgadas	10.600,00
Escenario 2	SP-UGP-1010-11 ML-25-3/100	8 pulgadas	17.600,00
Escenario 3	SP-UGP-1020-10 ML-25-3/115	10 pulgadas	20.240,00
Escenario 4	SP-UGP-1020-13 ML-29-1/120-NC	10 pulgadas	32.500,00

A continuación, el tercer grupo de costos variables viene dado por los transformadores designados para cada escenario de bombeo en el caso que se conecten en la tarifa 3.1A de alta tensión. Cada escenario, al demandar diferentes rangos de potencia, necesita transformadores que puedan cumplir dicha demanda, por lo cual a mayor demanda de potencia se requieren transformadores con mayor capacidad, por lo cual el escenario cuatro presenta el equipo con el mayor precio.

Tabla 30 Precios Transformadores de acuerdo a la potencia requerida

Escenarios	Potencia absorbida por el motor (KW)	Potencia		Precio (€)
		Potencia (KVA)	Transformador (KVA)	
Escenario 01	45,23	55,15	100	4.301,13
Escenario 02	151,09	186,53	250	6.947,99
Escenario 03	171,71	204,42	250	6.947,99
Escenario 04	227,43	287,89	400	8.823,44

Por último, realizamos la sumatoria de todos los costes, tanto de obra civil como de equipamiento ya sean en la tarifa de baja tensión o alta tensión, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 31 Costes finales de implementación de los escenarios de bombeo.

Escenarios	Costes de implementación en baja tensión (€)	Costes de implementación en alta tensión (€)
Escenario 01	1.388.356,39	1.407.863,12
Escenario 02	1.404.682,42	1.426.836,01
Escenario 03	1.410.520,98	1.432.674,57
Escenario 04	1.427.872,31	1.451.901,35

3.5.3. Análisis de viabilidad financiera de los escenarios.

Una vez obtenidos todos los costes de implementación para cada escenario de bombeo, se procede a realizar un análisis financiero de la viabilidad de cada uno de ellos de acuerdo al tiempo de vida útil, tanto de la obra civil como de los equipamientos electromecánicos, donde podremos observar el valor real que tendrán en una proyección a futuro.

Para realizar dicho análisis se utiliza el indicador financiero de Coste Anual Equivalente (CAE), el cual es utilizado principalmente en proyectos que no son generadores directos de ingresos, como proyectos de subsidio, apoyo a otras actividades o prestar servicios. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del cálculo del CAE para cada escenario de bombeo tanto en conexión a la tarifa de baja tensión como de alta tensión.

Tabla 32 Calculo del coste anual equivalente de los escenarios de bombeo

Escenario	Equipación	Vida útil (años)	Coste Baja Tensión		Coste Alta Tensión	
			Total (€)	CAE (€)	Total (€)	CAE (€)
1	Equipamiento	15	343.356,39	30.881,85	362.863,12	32.636,31
	Obra civil	25	1.045.000,00	66.892,50	1.045.000,00	66.892,50
	Total			97.774,35		99.528,81
2	Equipamiento	15	359.682,42	32.350,23	381.836,01	34.342,75
	Obra civil	25	1.045.000,00	66.892,50	1.045.000,00	66.892,50
	Total			99.242,73		101.235,25
3	Equipamiento	15	365.520,98	32.875,36	387.674,57	34.867,88
	Obra civil	25	1.045.000,00	66.892,50	1.045.000,00	66.892,50
	Total			99.767,86		101.760,38
4	Equipamiento	15	382.872,31	34.435,96	406.901,35	36.597,16
	Obra civil	25	1.045.000,00	66.892,50	1.045.000,00	66.892,50
	Total			101.328,46		103.489,66

4. RESULTADOS

4.1. Consumo energético total de cada escenario de bombeo

Como primer resultado tenemos el total de la energía consumida por cada escenario de bombeo, el cual viene generado por los caudales de aprovechamiento y alturas manométricas establecidas para cada escenario de bombeo.

Como podemos observar en la Figura 5 el mayor consumo energético viene dado por el escenario 1 con un total de 396.183 kW/h demandados al año, ya que el mismo presenta un régimen de bombeo de 24 horas y sin días de intercalación. El segundo mayor consumo energético viene dado por el escenario 4 con un total de 305.211 kW/h al año, en el caso de este escenario se propuso un régimen de bombeo que cuente con la menor cantidad de horas de trabajo para la bomba y el máximo caudal de extracción del pozo, por lo cual es

necesaria una alta demanda energética para poder abastecer la demanda poblacional con un régimen de bombeo de este tipo.

Por otro lado, podemos observar que, al tomar caudales y horarios de bombeo más intermedios, el consumo energético disminuye considerablemente, donde obtenemos un consumo de 272.336 kW/h al año para el escenario 3 y el consumo más bajo de los cuatro escenarios viene dado en el escenario 2 con un total de 261.942 kW/h al año.

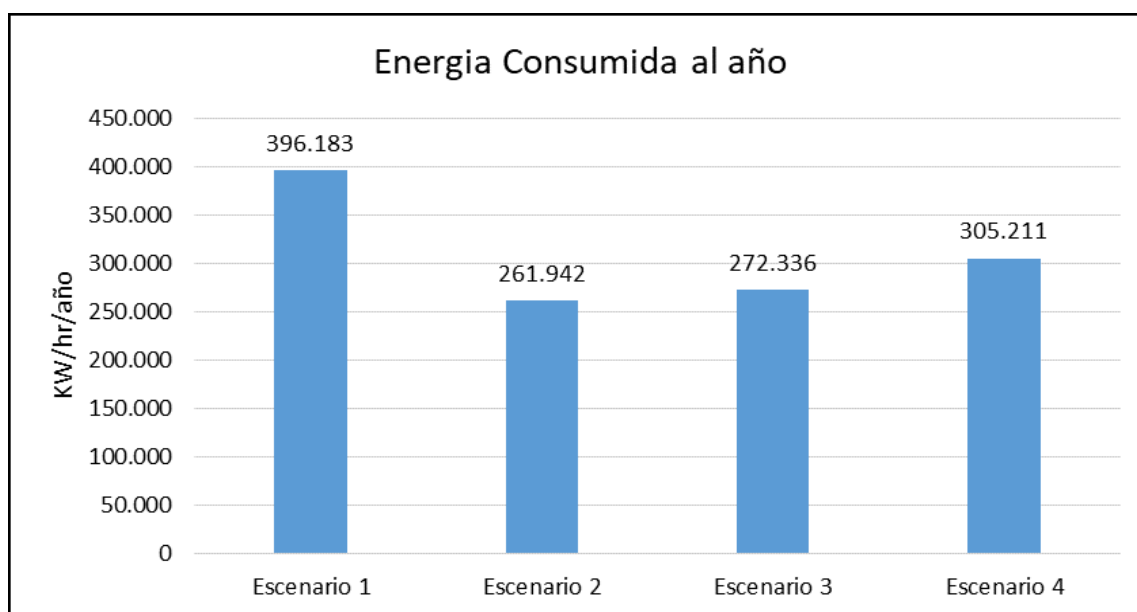


Figura 5 Consumo energético total de cada escenario.

Como segundo resultado, en base al consumo energético realizamos la sumatoria del consumo de energía mensual y el coste de la potencia contratada anual para cada escenario, obteniendo así los costes totales anuales para cada escenario de bombeo tanto como en la tarifa 3.0A de baja tensión como en la tarifa 3.1A de alta tensión.

En la figura 6 podemos observar los resultados obtenidos, donde el escenario 1 a pesar de que trabaja en un régimen de funcionamiento continuo y demanda la mayor cantidad de energía al año, presenta los costes más bajos de consumo energético ya que el mismo funciona con el menor caudal y una menor cantidad de energía demandada por hora.

Luego podemos observar que el escenario 4 presenta el mayor coste por consumo energético, aunque demanda menor energía al año que el escenario 1. Esta diferencia se da debido al alto caudal de extracción que presenta dicho escenario, ya que para poder extraer grandes cantidades de agua del pozo se requiere equipamientos con mayor potencia y por lo consiguiente mayor consumo de energía.

Por otro lado, se puede ver que los escenarios 2 y 3 presentan los costes energéticos más intermedios tanto para la tarifa de baja tensión como de alta tensión. Ya que estos trabajan con un caudal medio de extracción y horas de bombeo en periodos con las tarifas de costes más bajos.

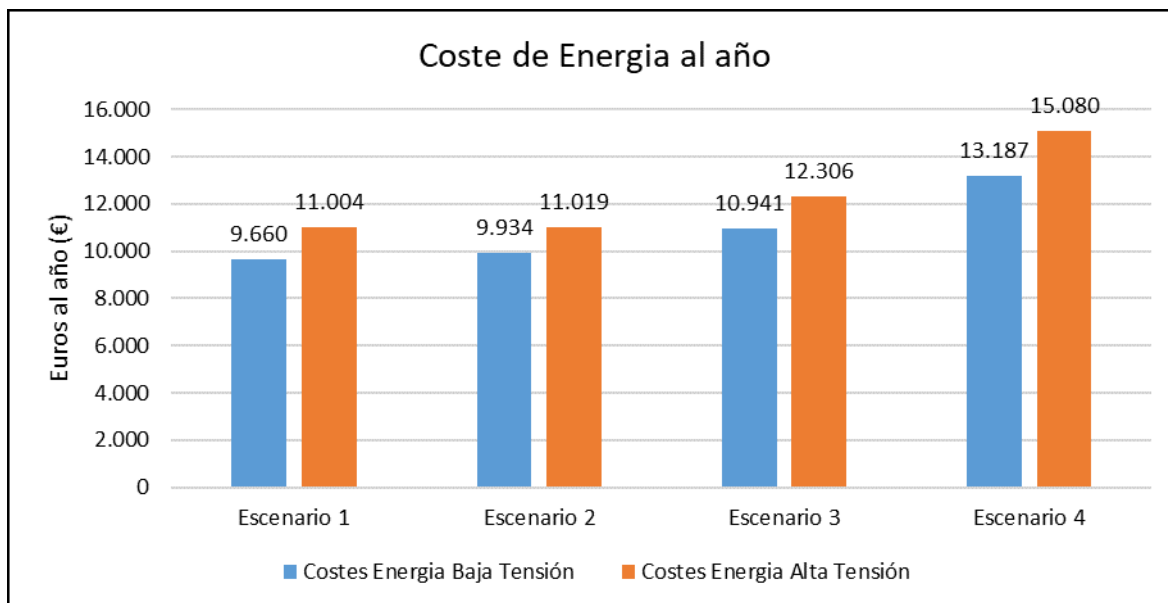


Figura 6 Coste Energético al año de cada escenario de bombeo.

4.2. Costes totales de implementación para cada escenario.

En el presente punto realizamos el cálculo del coste real que tendría cada escenario de bombeo en un tiempo proyectado a los años de vida de las diferentes equipaciones, y considerando que las dos tarifas se mantienen constantes, donde realizamos la sumatoria entre el CAE obtenido previamente y el total de coste energético anual de cada escenario en las diferentes tarifas eléctrica, obteniendo los resultados expuestos en la figura 7.

De forma general podemos observar que existe un mayor coste de implementación para cualquier escenario en las tarifas de alta tensión estas, diferencias que vienen reflejadas en dos puntos importantes que hacen la diferencia entre estas dos tarifas:

- El primero viene dado por el precio de la tarifa eléctrica para la potencia contratada ya que esta es mayor en la tarifa de alta tensión que en la de baja tensión, a pesar de que el precio por kW/h es contrario siendo más económico en la tarifa de alta tensión que en baja tensión.
- Otro punto importante es el de la implementación de transformadores; considerando que los escenarios que estarían conectados en alta tensión deberán considerar

dentro de los costes de implementación la instalación de un transformador para distribuir la tensión requerida por la bomba. Esta es una acción que eleva los costes de implementación aportando también a la diferencia que existe entre los escenarios establecidos en baja tensión que no precisan la instalación de este equipamiento, ya que recibirían la tensión adecuada para la bomba directamente de la red.

En los resultados obtenidos podemos observar que el escenario 4 presenta los costes más elevados de todos los escenarios tanto en baja tensión como en alta tensión, seguido por el escenario 3 con una diferencia que varía entre los 4.000 a 4.500 euros con el escenario 4. Podemos apreciar que luego de la gran diferencia que existe entre el escenario 4 y 3, esta se reduce considerablemente entre los escenarios restantes, donde existe una diferencia que varía entre los 1.000 a 2.000 euros entre ellos, siendo el escenario 1 con el coste total más bajo de todos.

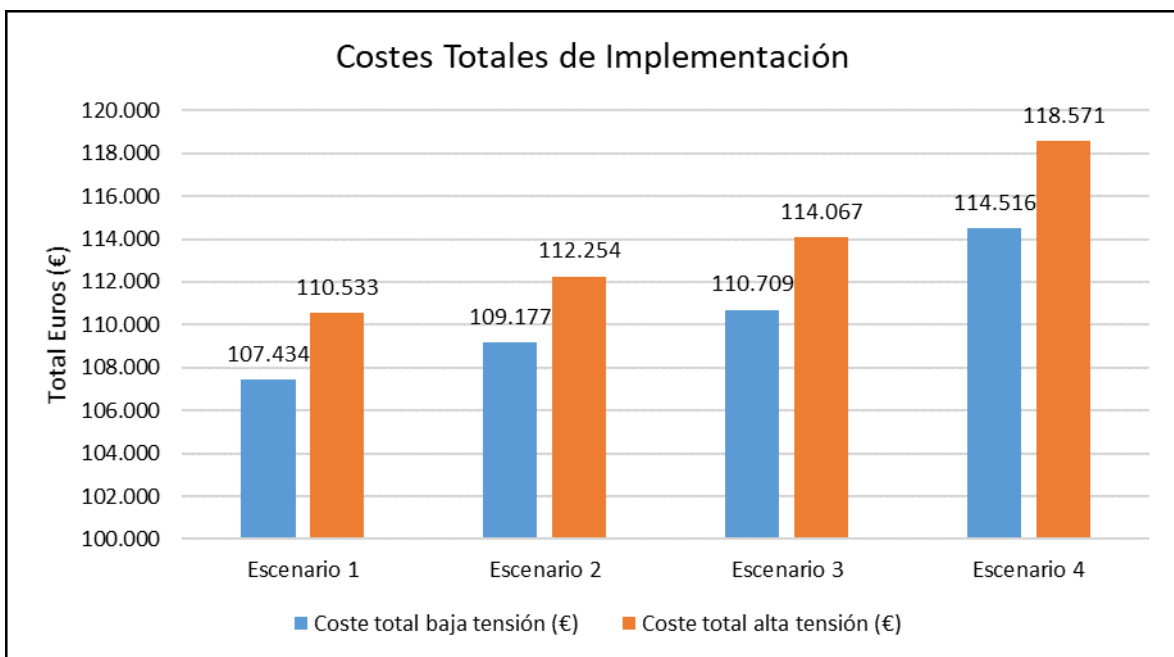


Figura 7 Costes totales de implementación.

5. DISCUSIÓN

Una vez obtenidos todos los cálculos tanto de dimensionamiento, consumo energético y diferentes costes de implementación se realiza la siguiente discusión para la selección del mejor escenario de bombeo.

Primero analizaremos las condiciones establecidas para el escenario 1, donde se trabaja con un régimen de bombeo continuo y el depósito únicamente cumple la función de transmisor de agua. Este tipo de funcionamiento si bien presenta el menor caudal de explotación y los costes más bajos de implementación y funcionamiento, es el escenario que nos genera un mayor consumo energético en todo el año con un total de 396.183 kW/h no considerando ningún tipo de margen de seguridad, que pueda garantizar el abastecimiento de la comunidad en caso de emergencias o problemas que puedan surgir con las equipaciones; la falta de un volumen de reserva en el depósito nos genera una dependencia directa a la bomba del pozo para el abastecimiento, dejándonos sin alternativas ante cualquier adversidad que pueda surgir.

Luego tenemos el régimen de bombeo establecido en el escenario 4, donde realizamos el abastecimiento de la población con el máximo caudal extraíble, con las menores horas de trabajo para el equipo de bombeo y considerando un volumen de reserva en el depósito que nos permite intercalar los días de funcionamiento.

Aplicar un escenario de estas características, no proporciona unos resultados finales beneficiosos. Ya que al trabajar con un alto caudal se incrementa la demanda del consumo energético, siendo el segundo escenario con el mayor consumo. Este incremento de demanda energética, se debe a las dimensiones de la bomba requerida para la extracción de agua, y la implementación de un transformador en caso de que trabaje en alta tensión. El coste de este escenario es elevado, tanto en tarifa de alta como en baja tensión, a pesar de que presenta pocas horas de funcionamiento, ya que la energía demandada por la bomba cada hora aumenta considerablemente el coste energético cuando se obtienen los cálculos totales por año.

Por último, tenemos los resultados más similares obtenidos para los escenarios 2 y 3, donde se considera un régimen de bombeo alternando los días de funcionamiento y conservando un volumen de reserva en el depósito. Al realizar la comparación de los datos obtenidos entre ambos, se puede observar que el escenario 2 en general presenta los resultados más favorables para el abastecimiento de la población. Dicho escenario al presentar un caudal de explotación medio, genera una menor demanda energética, y al distribuirlo en los periodos tarifarios con el menor coste energético, reduce considerablemente el coste total por consumo energético.

De igual manera el escenario 2 al presentar un consumo energético medio, reduce los costes de implementación para su funcionamiento, ya que el mismo necesita equipos electromecánicos de menor potencia y envergadura. Por otro lado, considerando los datos obtenidos para el coste total real del escenario, tomando en cuenta la implementación y costos energéticos, se puede observar que económicamente es más viable su implementación en baja tensión, ya que al trabajar en la tarifa 3.0A se obtienen costes más reducidos de consumo energético y no es necesario realizar la implementación de un transformador, el cual eleva los costes considerablemente. Por último, es válido mencionar que el escenario 2 al contar con un volumen de agua de reserva constante en el depósito, genera un margen de seguridad al abastecimiento de la población en caso de cualquier tipo de contingencia que se pueda dar en las instalaciones, funcionando también como una reserva en caso de incendios para apoyo de la mitigación de los mismos.

6. CONCLUSIONES

Al haber realizado los diferentes cálculos para la implementación y funcionamiento de diferentes escenarios de bombeo, se obtienen las siguientes conclusiones:

- El escenario 2 al contar con un caudal de explotación medio genera menores descensos del nivel dinámico del pozo, demandando así menos energía para la extracción del agua, por lo que se considera el escenario óptimo de explotación del sistema.
- El escenario seleccionado al contar con un consumo energético medio, demanda equipamientos de menor potencia y envergadura, lo cual reduce considerablemente los costes para su implementación.
- El mantener un volumen de reserva en el depósito nos da la posibilidad de disminuir los días de trabajo del grupo de bombeo y mantener un parámetro de seguridad que garantice el abastecimiento de la demanda de la población.
- Establecer un caudal de extracción mínimo con un régimen de bombeo continuo, sin considerar un resguardo en el depósito, para satisfacer la demanda de una población, no genera un menor consumo energético, ni garantiza el abastecimiento de una población ante cualquier tipo de problemática que pueda surgir con el sistema de abastecimiento.

- Realizar el abastecimiento de una población con caudales de explotación intermedios permite optimizar el consumo energético y reducir los costes energéticos.
- Efectuar una captación conectado a una tarifa de alta tensión genera mayores costes, tanto de implementación debido al equipamiento que se debe instalar para regular la tensión, como en el pago por potencia contratada ya que la tarifa en alta tensión presenta costes más altos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- BOE (2001). *Ley 54/1997 de 27 de noviembre del Sector Eléctrico. Boletín Oficial del Estado* núm. 268 de 8 de noviembre de 2001.
- BOE (2013). *Ley 24/2013 de 26 de diciembre del Sector Eléctrico. Boletín Oficial del Estado* núm. 310 de 27 de diciembre de 2013.
- Campbell, S., Godlove, C., James, K., (2003). *Watergy*. Whashington DC. Aliance to save Energy.
- Canal Isabel II Gestión. (2012). *Normas para redes de abastecimiento*. Versión 2012. Dirección General de Obras Hidráulicas. Sección de Tecnología Hidráulica. Centro de Estudio Hidrográficos. (1977). *Normas para la redacción de proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento de poblaciones*. El Centro, Madrid.
- Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE) (2018). *Informe de precios energéticos regulados*. IDAE, España.
- Nieto, N. (2011). *La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. Política y cultura*, (36), 157-176. Recuperado en 22 de mayo de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422011000200007&lng=es&tlng=es.ANEXOS
- Organización de Naciones Unidas, *Día mundial del agua 2010. Agua limpia para un mundo sano. Informe Final*, ONU, Zaragoza, 2010, p. 53.
- Pulido, I. (2003). *Política de gestión sostenible del agua y la energía en sistemas agropecuarios*, 87 pp., España, Córdoba, Universidad de Córdoba, Departamento de Agronomía, (Proyecto de Investigación), www.un.org. *Naciones Unidas*.
<https://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>. Accedido en 22 de mayo de 2019.
- www.franklinlinkmx.wordpress.com., *Franklin Electric*.,
<https://franklinlinkmx.wordpress.com/2012/10/31/que-se-debe-hacer-en-una-instalacion-sumergible/>. Recuperado en 26 de mayo de 2019.
- www.grundfos.com., *Grundfos manual de ingeniería SP*.
(<http://passthrough.fwnotify.net/download/300984/http://www.grundfos.com/content/dam/Global%20Site/Industries%20&%20solutions/waterutility/pdf/engineering-manual.pdf>). Recuperado en 12 de marzo de 2019.

ANEXOS

Anexo I Cálculo de consumo energético y días de trabajo en tarifa 3.0A de baja tensión.

Primero se realiza el cálculo del consumo diario para cada escenario de bombeo, en base a la distribución horaria realizada para cada uno de ellos en los diferentes periodos tarifarios de electrificación, donde se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 33 Consumo diario de energía para cada escenario en tarifa 3.0A

Escenarios	Periodos Tarifarios	Horas de funcionamiento	Energía consumida (kW/día)
Escenario 1 Energía Consumida (45,23 kW/h)	Punta	8	361,8
	Llano	12	542,8
	Valle	4	180,9
Total		24	1085,5
Escenario 2 Energía Consumida (143,50 kW/h)	Punta	0	0,0
	Llano	7	1004,5
	Valle	8	1148,0
Total		15	2152,5
Escenario 3 Energía Consumida (171,71 kW/h)	Punta	0	0,0
	Llano	5	858,6
	Valle	8	1373,7
Total		13	2232,3
Escenario 4 Energía Consumida (227,43 kW/h)	Punta	0	0,0
	Llano	3	682,3
	Valle	8	1819,4
Total		11	2501,7

Luego de obtener el consumo energético diario, se simula el funcionamiento de la bomba para un año, calculando el número de días de funcionamiento con un régimen de bombeo de un día de descanso, con excepción del escenario 1, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 34 Días de funcionamiento de acuerdo a tarifa 3.0A

Meses	Días de Bombeo
Enero	15
Febrero	14
Marzo	16
Abril	15
Mayo	15
Junio	15
Julio	16
Agosto	15
Septiembre	15
Octubre	16
Noviembre	15
Diciembre	15
Total	182

Luego al multiplicar los datos obtenidos de consumo energético diario en cada periodo tarifario por los días del mes trabajados y las tarifas correspondientes se obtiene como resultado el consumo energético mensual y el costo energético mensual de cada escenario de bombeo, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 35 Total consumo y coste energético mensual para cada escenario en tarifa 3.0A.

Meses	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3		Escenario 4	
	Energía Consumida	Coste Energía	Energía Consumida	Coste Energía	Energía Consumida	Coste Energía	Energía Consumida	Coste Energía
	(kW/h)	(€)	(kW/h)	(€)	(kW/h)	(€)	(kW/h)	(€)
Enero	33.648,46	369,16	32.288,26	269,90	33.483,96	258,17	37.533,01	256,20
Febrero	30.392,15	333,44	30.135,71	251,90	31.251,70	240,96	35.030,81	239,12
Marzo	33.648,46	369,16	34.440,81	287,89	35.716,23	275,39	40.035,21	273,28
Abril	32.563,02	357,25	32.288,26	269,90	33.483,96	258,17	37.533,01	256,20
Mayo	33.648,46	369,16	32.288,26	269,90	33.483,96	258,17	37.533,01	256,20
Junio	32.563,02	357,25	32.288,26	269,90	33.483,96	258,17	37.533,01	256,20
Julio	33.648,46	369,16	34.440,81	287,89	35.716,23	275,39	40.035,21	273,28
Agosto	33.648,46	369,16	32.288,26	269,90	33.483,96	258,17	37.533,01	256,20
Septiembre	32.563,02	357,25	32.288,26	269,90	33.483,96	258,17	37.533,01	256,20
Octubre	33.648,46	369,16	34.440,81	287,89	35.716,23	275,39	40.035,21	273,28
Noviembre	32.563,02	357,25	32.288,26	269,90	33.483,96	258,17	37.533,01	256,20
Diciembre	33.648,46	369,16	32.288,26	269,90	33.483,96	258,17	37.533,01	256,20
Total	396.183,43	4.346,59	391.764,22	3.274,76	406.272,09	3.132,51	455.400,55	3.108,52

Anexo II Calculo de consumo energético y días de trabajo en tarifa 3.1A de alta tensión.

Para el caso de la tarifa 3.1 A se realiza el mismo cálculo con la diferencia de que este tipo de tarifa considera fines de semana y feriados para el cobro de la tarifa de electricidad, donde en dichos días solo se consideran los periodos de llano y valle, en tal sentido se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 36 Consumo diario de energía para cada escenario en tarifa 3.1A alta tensión

Escenarios	Periodos Tarifarios	Horas de funcionamiento (Lunes a Viernes)	Energía consumida de Lunes a Viernes (kW/h/día)	Horas de funcionamiento (Fines de Semana y Feriados)	Energía consumida fines de semana y feriados (kW/h/día)
Escenario 1	Punta	8	361,8	0	0,0
Energía Consumida (45,23 kW/h)	Llano	12	542,8	6	271,4
	Valle	4	180,9	18	814,1
Total		24	1085,5	24	1085,5
Escenario 2	Punta	0	0,0	0	0,0
Energía Consumida (143,50 kW/h)	Llano	7	1004,5	0	0,0
	Valle	8	1148,0	15	2152,5
Total		15	2152,5	15	2152,5
Escenario 3	Punta	0	0,0	0	0,0
Energía Consumida (171,71 kW/h)	Llano	5	858,6	0	0,0
	Valle	8	1373,7	13	2232,2
Total		13	2232,3	13	2232,2
Escenario 4	Punta	0	0,0	0	0,0
Energía Consumida (227,43 kW/h)	Llano	3	682,3	0	0,0
	Valle	8	1819,4	11	2501,7
Total		11	2501,7	11	2501,7

Luego al igual que en la tarifa anterior realizamos el conteo de los días trabajados por mes, con la diferencia de que en este caso dividimos los días de lunes a viernes, fines de semana y festivos, donde se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 37 Días de funcionamiento de acuerdo a tarifa 3.1A alta tensión.

Meses	Días de Bombeo de	Días de Bombeo	Días de Bombeo	Total días de bombeo
	Lunes a Viernes	Fines de Semana	Feridos	
Enero	11	4	0	15
Febrero	10	4	0	14
Marzo	11	5	0	16
Abril	10	4	1	15
Mayo	10	4	1	15
Junio	10	5	0	15
Julio	12	4	0	16
Agosto	11	4	0	15
Septiembre	10	5	0	15
Octubre	12	4	0	16
Noviembre	9	5	1	15
Diciembre	10	4	1	15
Total	126	52	4	182

Luego con los resultados obtenidos realizamos el cálculo del consumo energético y coste de energía total para cada mes del año, donde realizamos la multiplicación de la energía consumida diaria en cada periodo tarifario por los días trabajados, ya sea de lunes a viernes, fines de semana o feriados, obteniendo el consumo energético mensual por periodo tarifario, donde por último se multiplica por la tarifa eléctrica establecida para cada periodo y se obtiene el coste energético mensual. En la siguiente tabla podemos observar un ejemplo con los datos obtenidos para el mes de enero del escenario 1.

Tabla 38 Ejemplo de cálculo de consumo y coste energético para escenario 1 en tarifa 3.1A de alta tensión para un mes.

Periodos	Consumo día (lun- vier) kW/h	Total mes (lun- vier) kW/h	ENERO		Total Consumo Energético (kW/h)	Tarifas	Total Euros
			Consumo día Fines de semana y Festivo kW/h	Total Fines de semana y Festivo kW/h			
Punta	180,91	3979,92	0	0	3979,92	0,0143350	57,05
Llano	542,72	11939,77	271,36	2442,23	14382,00	0,0127540	183,43
Valle	361,81	7959,85	814,08	7326,68	15286,53	0,0078050	119,31
Total					33648,46		359,79

En base a la metodología mencionada anteriormente se realiza el cálculo del consumo y coste energético mensual para cada escenario de bombeo y se obtienen los resultados expuestos en la siguiente tabla.

Tabla 39 Total consumo y coste energético mensual de cada escenario en tarifa 3.1A.

Meses	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3		Escenario 4	
	Energía Consumida (kW/h)	Coste Energía (€)	Energía Consumida (kW/h)	Coste Energía (€)	Energía Consumida (kW/h)	Coste Energía (€)	Energía Consumida (kW/h)	Coste Energía (€)
Enero	33.648,46	359,79	32.288,26	306,70	33.483,96	308,08	37.533,01	330,10
Febrero	30.392,15	325,30	30.135,71	284,92	31.251,70	286,41	35.030,81	307,19
Marzo	33.648,46	357,27	34.440,81	323,50	35.716,23	325,50	40.035,21	349,63
Abril	32.563,02	347,45	32.288,26	301,72	33.483,96	303,83	37.533,01	326,72
Mayo	33.648,46	357,27	32.288,26	301,72	33.483,96	303,83	37.533,01	326,72
Junio	32.563,02	342,40	32.288,26	301,72	33.483,96	303,83	37.533,01	326,72
Julio	33.648,46	362,32	34.440,81	328,47	35.716,23	329,75	40.035,21	353,00
Agosto	33.648,46	357,27	32.288,26	306,70	33.483,96	308,08	37.533,01	330,10
Septiembre	32.563,02	347,45	32.288,26	301,72	33.483,96	303,83	37.533,01	326,72
Octubre	33.648,46	362,32	34.440,81	328,47	35.716,23	329,75	40.035,21	353,00
Noviembre	32.563,02	344,93	32.288,26	296,75	33.483,96	299,58	37.533,01	323,34
Diciembre	33.648,46	354,74	32.288,26	301,72	33.483,96	303,83	37.533,01	326,72
Total	396.183,43	4.218,51	391.764,22	3.684,11	406.272,09	3.706,33	455.400,55	3.979,94