



# Sustentabilidad Hídrica en la Ciudad de México





# Sustentabilidad Hídrica en la Ciudad de México

Responsables técnicos:

Dr. Mario Fidel García Sánchez

Dra. Issis Claudette Romero Ibarra



**CIUDAD DE MÉXICO**  
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN



**CESA<sup>CD</sup><sub>MX</sub>**  
Consejo Económico, Social y  
Ambiental de la Ciudad de México



Instituto Politécnico Nacional  
"La Técnica al Servicio de la Patria"





# Gobierno de la Ciudad de M3xico

## Consejo Econ3mico, Social y Ambiental



**CIUDAD DE M3XICO**  
CAPITAL DE LA TRANSFORMACI3N







CRÉDITOS

Consejo Económico, Social y Ambiental de la Ciudad de México

Sistema de Aguas de la Ciudad de México

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México

Instituto Politécnico Nacional

Secretaría de Investigación y Posgrado

Coordinación General de Planeación e Información Institucional

Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas



Instituto Politécnico Nacional

Coordinación académica

Dr. Arturo Reyes Sandoval

UPIITA-IPN/Investigación

Director General del IPN

Dr. Mario Fidel García Sánchez

Ing. Israel Vázquez Cianca

Dra. Issis Claudette Romero Ibarra

Director de la UPIITA

Dr. Miguel Félix Mata Rivera

M. en C. Ramón Herrera Ávila

Dr. José Antonio Aquino Robles

UPIITA

M. En C. Jorge Fonseca-Campos

Dra. Denisse Fabiola González Ramírez





## **Consejo Económico, Social y Ambiental de la Ciudad de México.**

Dr. Arturo Reyes Sandoval

Presidente Ejecutivo del Consejo Económico, Social y Ambiental de la Ciudad de México.

Lic. Enrique de la Rosa Luna Parra

Director General del Fondo para el Desarrollo Económico y Social de la Ciudad de México.

Lic. Apuleya Pons Álvarez

Directora de Operación y Proyectos del Fondo para el Desarrollo Económico y Social de la Ciudad de México.

## **Participantes**

Alfonso Abrego Lozano

Claudio Rodrigo Carranza Navarro

Cesar López Galván

Diego Valencia Cruz

Gustavo Lara Prudenciano

Iván Hans Frías Romero

Iván Martín Ramírez Rodríguez

Irving Martín Ramírez Rodríguez

Kevin Adair Atenco Rojas

Nancy Viviana Ramírez Sánchez





# Contenido

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Resumen                                                              | 10 |
| Problemática                                                         | 12 |
| Objetivo general:                                                    | 17 |
| Objetivos específicos:                                               | 17 |
| Descripción del proyecto                                             | 18 |
| Eje 1: Acciones de eficiencia energética                             | 18 |
| Eje 2: Evaluación de posibilidades de generación distribuida         | 18 |
| Eje 3: Telemetría en el consumo energético y condiciones hidráulicas | 19 |
| Eje 4: Diagnóstico integral de la operación de pozos                 | 19 |
| Alcances                                                             | 20 |
| Metodología                                                          | 21 |
| Resultados                                                           | 21 |
| Diseño de marco muestral                                             | 21 |
| Eficiencia energética y calidad de la energía                        | 23 |
| Consumo energético                                                   | 31 |
| Sistemas distribuidos                                                | 33 |
| Telemetría en pozos de agua potable                                  | 34 |
| Telemetría en la gestión del agua en la CDMX                         | 35 |
| Características del sistema de telemetría en funcionamiento          | 36 |
| Evaluación en los pozos                                              | 48 |
| Pozo Periférico 1, alcaldía Coyoacán                                 | 48 |
| Pozo Auxiliar Xotepingo 1C                                           | 52 |
| Pozo Coyotes                                                         | 55 |
| Pozo San Francisco Culhuacán                                         | 59 |
| Pozo Directo 25                                                      | 61 |





|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Pozo Deportivo Durango                                              | 64  |
| Pozo Casa Amarilla                                                  | 67  |
| Pozo Antonio M. Anza                                                | 69  |
| Pozo Mar Mediterráneo                                               | 71  |
| Pozo Alameda de Tacubaya                                            | 74  |
| Discusión de los resultados y propuestas                            | 76  |
| Eficiencia energética                                               | 76  |
| Sistemas distribuidos                                               | 84  |
| Telemetría en pozos de agua potable                                 | 87  |
| Propuesta para implementar la alarma al sistema de panel de control | 88  |
| Propuesta para Automatización y Control de Mantenimientos           | 89  |
| Análisis de los costos por litro de agua bombeada                   | 90  |
| Conclusiones                                                        | 91  |
| Propuestas de líneas de acción                                      | 94  |
| Referencias                                                         | 95  |
| Anexo 1                                                             | 98  |
| Pozo Alameda Tacubaya                                               | 99  |
| Pozo Casa Amarilla                                                  | 99  |
| Mar Mediterráneo                                                    | 100 |
| Pozo Antonio M Anza                                                 | 100 |
| Pozo Deportivo Durango                                              | 101 |
| Directo 25                                                          | 101 |
| Pozo Los Coyotes                                                    | 102 |
| Pozo Periférico 1                                                   | 102 |
| Pozo San Francisco Culhuacán                                        | 103 |
| Pozo Auxiliar Xotepingo 1C                                          | 103 |





|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| Anexo 2                                       | 104 |
| SACMEX Pozo Directo 25 Propuesta fotovoltaica | 105 |
| Pozo Directo 25 ubicacio´n geogra´fica        | 105 |
| Pozo Directo 25 irradiacio´n solar            | 106 |
| Pozo Directo 25 distribucio´n                 | 106 |
| Pozo Directo 25 energıa generada              | 107 |
| Pozo Directo 25 an´alisis econo´mico          | 107 |



## Resumen

---

La disponibilidad de agua potable es uno de los desafíos más importantes que enfrenta la humanidad. En particular, la CDMX: Ciudad de México, enfrenta varios retos en materia de administración, manejo y distribución del vital líquido. Existen diferentes problemáticas asociadas a la eficiencia de la extracción del agua potable de los pozos de la CDMX, dentro de las que destacan el manejo de las bombas que impacta en el consumo de electricidad, el cual incrementa cuando no se operan en condiciones óptimas. El manejo eficiente de los pozos que requiere la integración de la información y la disponibilidad de todos los datos actualizados de bombas instaladas con relación a la profundidad, nivel dinámico, configuraciones en los sistemas de bombeo, y condiciones de los pozos. En este proyecto se realizó un diagnóstico que permitió identificar factores que afectan la eficiencia energética de los pozos para tomar las medidas correctivas necesarias, disminuyendo el consumo y aumentando el tiempo de vida. Con el aumento de la eficiencia de los pozos y la potencial integración de energías renovables se impactará en la disminución del consumo eléctrico, lo que conlleva un beneficio social al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Después de realizar un análisis, conjuntamente con personal del SACMEX: Sistema de Aguas de la Ciudad de México, se decidió centrar el estudio en 10 pozos (todos en operación) ubicados en la alcaldía Coyoacán (Deportivo Durango, Directo 25, Los Coyotes, Periférico 1, San Francisco Culhuacán y Auxiliar Xotepingo 1C), la alcaldía Miguel Hidalgo (Casa Amarilla, Alameda de Tacubaya y Mar Mediterráneo) y la alcaldía Cuauhtémoc (Antonio M. Anza). Las mediciones eléctricas permitieron identificar aspectos que afectan la eficiencia energética de los pozos y en función de estas se hicieron una serie de recomendaciones. Se hizo una propuesta de instalación fotovoltaica para disminuir consumo eléctrico y minimizar emisiones. Se identificaron las áreas donde sería viable instalar estos sistemas y se hicieron cálculos que indican la cantidad de energía que se podría generar. Se concluye que instalando solamente paneles solares en una de las casetas de control o de cloración en la

mitad de los pozos estudiados se dejaría de emitir 6.2 tCO<sub>2eq</sub> a la atmósfera.

Se considera fundamental activar todos los sistemas de telemetría que no se encuentran en funcionamiento. Se realizaron propuestas que pueden resultar más económicas, compactas y menos sensibles al vandalismo para los sistemas de telemetría y otras que ofrecen diferentes alcances y capacidades para la transmisión de la información. Se considera muy viable e importante incorporar a la telemetría los sistemas de seguridad de los pozos y hacer una automatización y control de las actividades de mantenimiento en los pozos. En este proyecto se estimó un costo promedio de \$1.11 por metro cúbico de agua bombeada, con una desviación estándar de \$0.65 y un porcentaje de variabilidad del 58.58%. En cuanto al consumo eléctrico, obtuvimos una potencia promedio de 0.33 kW por metro cúbico de agua bombeada, con una desviación estándar de 0.16 kW y un porcentaje de variabilidad del 49.97%.

Este trabajo propone una serie de líneas de acción para la implementación de estrategias que contribuyan a la resolución de una problemática fundamental, como es el acceso universal al agua, coadyuvando a mitigar el impacto ambiental, beneficiando a la población en condiciones de vulnerabilidad con un recurso vital de derecho constitucional con base en el Plan Nacional Hídrico 2024-2030 y el Plan Nacional de Desarrollo, ciudad sustentable y resiliente. Todo esto contribuirá a la gestión integral del agua desde una perspectiva de sustentabilidad hídrica en la CDMX, coadyuvando a su vez a mitigar el impacto ambiental con base en el Programa de Acción Climática 2021-2030 y la Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050.

## Problemática

La disponibilidad de agua potable es uno de los retos más importantes que enfrenta la humanidad en la actualidad, ya que es uno de los recursos más valiosos para el ser humano. A nivel internacional, el aumento de la población y el subsecuente aumento de la actividad industrial han creado una crisis de abasto de agua que cada vez se ha generalizado más. No es abastecer agua, sino abastecer agua de calidad, lo que se agrava con las consecuencias del cambio climático (Water.org, 2014). México no es ajeno a esta problemática y trabaja en diversas acciones para la gestión integral del agua como un tema prioritario en el desarrollo, salud y bienestar social de la nación. En particular, el valle de México tiene una de las densidades poblacionales más grandes del mundo, lo que implica grandes retos para la gestión del recurso hídrico. De acuerdo con el programa de sustentabilidad y gestión de servicios hídricos 2013-2018 (Gobierno de la Ciudad de México, 2016), la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (CDMX) tiene el 20% de la población del país provocando una exponencial demanda de servicios públicos como el agua potable. Las fuentes de abastecimiento del sistema de agua potable en la CDMX son 512 pozos profundos, 17 manantiales y el Sistema Lerma-Cutzamala (INEGI, 2017). El acuífero de la Zona Metropolitana es la principal fuente de abastecimiento de agua potable y se recarga por infiltraciones de la sierra de las Cruces y del Chichinautzin. Se estima que, en el 2015 en la cuenca de la Zona Metropolitana del Valle de México se tuvo una recarga de 478 hm<sup>3</sup>/año (152 hm<sup>3</sup>/año de recarga natural y 326 hm<sup>3</sup>/año de recarga inducida), frente a una extracción bruta de 625 hm<sup>3</sup>/año por lo que hay un déficit de 147 hm<sup>3</sup>/año que se debe cubrir con las otras fuentes de agua (BID, 2012; Peña-Díaz, 2019). La creciente urbanización limita la recarga de las aguas subterráneas e incrementa los niveles de contaminación. El sistema de agua potable cuenta con 567 km de ductos, 1273 km de red primaria, 11,971 km de red secundaria, 357 tanques de almacenamiento, 268 plantas de bombeo, 49 plantas potabilizadoras, 976 pozos y 69 manantiales, aunque no todos se encuentran en operación (Gobierno de la Ciudad de México, 2016). Se estima que el 42% del caudal subministrado a la red de agua potable se pierde en fugas (BID, 2012). En el 2023 se realizó una inversión



de 167 millones de pesos en la reparación de 11138 fugas en vías primarias y secundarias, pero es necesario eficientar los recursos para poder cubrir las necesidades de la ciudad. Para mejorar la eficiencia se debe analizar tanto la infraestructura con que se cuenta, como en la incorporación de nuevas tecnologías, como las energías renovables. La implementación de generación distribuida usando energías renovables permite disminuir costos de consumo a largo plazo, al mismo tiempo que mitiga la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a disminuir el impacto en el medio ambiente.

Es imperativo implementar una cultura de la gestión integral del agua con el objetivo de tomar acción para una sustentabilidad hídrica y contribuir al Plan Nacional Hídrico 2024-2030 Agua es bienestar, cuyos objetivos son:

- 1.- Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable.
- 2.- Aprovechar eficientemente el agua para contribuir al desarrollo sostenible de los sectores productivos.
- 3.- Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y afromexicanos.
- 4.- Preservar la integralidad del ciclo del agua a fin de garantizar los servicios hidrológicos que brindan cuencas y acuíferos.
- 5.- Mejorar las condiciones para la gobernanza del agua a fin de fortalecer la toma de decisiones y combatir la corrupción.

Asimismo, dentro del marco de la ley de mitigación y adaptación al cambio climático y desarrollo sustentable para la Ciudad de México, la estrategia local de acción climática 2021-2050 y programa de acción climática de la CDMX 2021-2030 que tiene como objetivos, medidas y metas transitar hacia un desarrollo bajo en carbono y resiliente en la CDMX, con un enfoque desde la economía circular, la inclusión social, los derechos humanos y la equidad de género. Dentro de los ejes, líneas de acción y medidas de la estrategia se consideran ocho ejes estratégicos, los cuales se alinean al programa Ambiental y de Cambio Climático para la Ciudad de México 2019-2024: 1) Movilidad integrada y sustentable, 2) Ciudad solar, 3) Basura cero, 4) Manejo sustentable del agua y rescate de ríos y cuerpos de agua, 5) Revegetación del campo y la ciudad, 6) Capacidad adaptativa y resiliencia urbana, 7) Calidad del

aire, y 8) Cultura climática. El impacto de este proyecto incidirá en los ejes 2, 4, 6, 7 y 8 con una perspectiva en la gestión hídrica integral.

La operación, la administración, distribución, así como la prestación de los servicios públicos de agua, saneamiento de los sistemas de agua potable, drenaje y alcantarillado son medidas claves para identificar criterios, procedimientos y parámetros que abonen a las acciones climáticas planteadas y al bienestar de nuestra población. La explotación de aguas subterráneas se ha incrementado con la construcción de pozos y se requiere de estrategias para favorecer la eficiencia de la extracción. Podemos definir a la eficiencia, como la relación entre la energía proporcionada al sistema y la que se recupera, expresado como un porcentaje. Suelen detectarse diversas dificultades, entre las que encontramos los problemas en las bombas por el incremento en el consumo de electricidad. Asimismo, no se cuenta con información actualizada sobre la cantidad de bombas instaladas.

Lo deseado es que todos los pozos tengan un sistema de medición de las variables más importantes y que estas mediciones sean transmitidas por telemetría a un centro de monitoreo. El centro de monitoreo recibe datos de gasto, presión manométrica y variables eléctricas, información que se manda por medio de una antena (telemetría). Hay variables, como el nivel estático y dinámico de agua en los pozos, los cuales se miden solo cuando se cambia la bomba de los pozos (estático), pues conlleva dificultades técnicas importantes. Además, la base de datos con que se cuenta de los pozos no siempre se encuentra actualizada por modificaciones en los mantenimientos y otras. Algunos de los pozos no tienen telemetría, ya sea porque se dañaron los sistemas o por vandalismo en lugares donde existe infraestructura de telemetría. Por tanto, se requiere hacer un diagnóstico detallado, con mediciones directas en los pozos, y a partir de los resultados obtenidos elaborar propuestas para mejorar la eficiencia, disminuir el consumo y evaluar las condiciones necesarias para la implementación de telemetría en los pozos que no tengan. También se debe evaluar la posibilidad de incorporar energías renovables para disminuir el costo e impacto ambiental de los sistemas de bombeo.



El agua es el único recurso fundamental para la vida y la disponibilidad de agua potable es uno de los problemas más importantes que enfrenta la humanidad. Lamentablemente, el desequilibrio de los ciclos naturales de la Tierra ha dictado nuevos ritmos ambientales. El aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) actualmente ha demeritado la calidad del aire y del agua, lo cual se ve reflejado en nuestro ecosistema y salud. Existe una gran variedad de gases de efecto invernadero y los más perjudiciales son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el ozono ( $\text{O}_3$ ). En particular, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el principal GEI. En enero de 2023, los niveles de dióxido de carbono alcanzaron las 419 partes por millón de media mensual, la cuarta lectura más alta desde 1958 (entre abril y junio de 2022 se superaron las 420 ppm) según los datos ofrecidos por la NOAA: Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos.

En este proyecto los análisis y propuestas son orientadas hacia la sustentabilidad en el manejo integral del agua dentro de la operación del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, contribuyendo a las metas establecidas en la Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050 y el Programa de Acción Climática 2021-2030, para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero, y fortalecer la adaptación y resiliencia de los ecosistemas, la infraestructura, los servicios y a la sociedad frente a los impactos del cambio climático. Cabe mencionar, que este proyecto se alinea con el plan general de desarrollo de la CDMX y sus objetivos de desarrollo (proyecto del Plan General de Desarrollo de la Ciudad de México 2020–2040) que establecen una visión de sostenibilidad ambiental, económica y social. El plan establece la igualdad como principio orientador para la planeación con acceso a los derechos a gozar de una vida digna. Por tanto, es necesario tomar acciones en materia de agua, energía y medioambiente para favorecer los grupos de población más vulnerables y mejorar su calidad de vida. En este proyecto se considera una gestión integral de agua, riesgos y resiliencia, buscando alinear las estrategias al Eje 3, que a su vez se integra por 5 objetivos de desarrollo (Tabla 1). En este eje se desarrollan temas de equilibrio ecológico y preservación del suelo de conservación, calidad del aire de la



ciudad y disminución de las emisiones de GEI, salvaguarda del ciclo del agua, tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos, y gestión integral de riesgos y protección civil. Asimismo, se alinea al Eje 4 en el objetivo del derecho al agua y al saneamiento.

**Tabla 1.** Plan General de Desarrollo de la Ciudad de México 2020–2040. Eje 3 y objetivos de desarrollo: ciudad sustentable y resiliente.

| Objetivo de desarrollo                                     | Constitución Política de la Ciudad de México          | Derechos Humanos                 | Objetivos de Desarrollo Sostenible      |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>3.1 Equilibrio ecológico y suelo de conservación</b>    | Derecho a la Ciudad                                   | Derecho a un medio ambiente sano | Ciudades y comunidades                  |
|                                                            | Derecho a un medio ambiente sano                      | Derecho al agua y al saneamiento | Acción climática                        |
|                                                            | Protección al medio ambiente                          |                                  | Vida de ecosistemas terrestres          |
|                                                            | Derecho al desarrollo sustentable                     |                                  | Agua limpia y saneamiento               |
|                                                            | Derecho al agua y a su saneamiento                    |                                  |                                         |
| <b>3.2 Acciones para contrarrestar el cambio climático</b> | Derecho al espacio público                            | Derecho a un medio ambiente sano | Energía asequible y no contaminante     |
|                                                            | Derecho a un medio ambiente sano                      |                                  | Acción climática                        |
| <b>3.3 Salvaguardar el ciclo del agua</b>                  | Derecho al agua y a su saneamiento                    | Derecho al agua y al saneamiento | Agua limpia y saneamiento               |
|                                                            | Derecho a un medio ambiente sano                      | Derecho a un medio ambiente sano | Ciudades y comunidades sostenibles      |
|                                                            | Derecho al desarrollo sustentable                     |                                  | Producción y consumo responsables       |
| <b>3.4 Tratamiento de residuos sólidos sustentable</b>     | Derecho a un medio ambiente sano                      | Derecho a un medio ambiente sano | Industria, innovación e infraestructura |
|                                                            | Derecho al desarrollo sustentable                     |                                  | Ciudades y comunidades sostenibles      |
|                                                            |                                                       |                                  | Producción y consumo responsables       |
| <b>3.5 Gestión integral de riesgos y protección civil</b>  | Derecho a la seguridad urbana y a la protección civil |                                  | Ciudades y comunidades sostenibles      |

En este proyecto, se propone que la eficiencia eléctrica de los sistemas de bombeo y el análisis de sus sistemas de telemetría sean tópicos que coadyuven a dar valor agregado a los esfuerzos ambientales planteados para la CDMX. Se deben buscar escenarios a corto, mediano y largo plazo que permitan la toma de decisiones más convenientes para una visión sostenible.



## Objetivo general:

---

Elaborar un diagnóstico y propuestas de líneas de acción que permitan hacer más eficiente la gestión del agua en la Ciudad de México, al mismo tiempo que se reduzcan sus impactos ambientales.

## Objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico de las instalaciones de los pozos y un análisis de las tarifas actuales contratadas, para identificar los requerimientos técnicos y operativos que puedan ser modificados en la mejora de la eficiencia energética en las instalaciones de bombeo de agua y la seguridad de estas.
- Desarrollar un análisis que permita conocer las posibilidades reales de implementar generación distribuida y energías renovables, incluyendo análisis de factibilidad.
- Plantear los requerimientos para el acondicionamiento e implementación de telemetría, y la propuesta de indicadores y manejo de datos en el consumo eléctrico en el bombeo de agua para generar información estratégica de calidad que permita de manera oportuna hacer mejor uso del recurso hídrico, mejorar la eficiencia en el mantenimiento de los pozos, y así la calidad del servicio a la población.



## Descripción del proyecto

El SACMEX es el sistema de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y reutilización más grande del país. Sin embargo, se requieren mayores inversiones y acciones que permitan garantizar el acceso al agua potable de forma sostenible y favorecer una cultura de sustentabilidad hídrica. Por tanto, se busca generar un diagnóstico y realizar una propuesta de líneas de acción que permitan hacer más eficiente su operación, liberando recursos de gasto corriente que puedan invertirse en la optimización de la red hidráulica. Esto implica contar con mediciones e información en tiempo real y proponer medidas que reduzcan el impacto ambiental inherente al suministro de agua potable y manejo de aguas negras en la Ciudad. Para ello, se han identificado áreas de oportunidad que dividimos en 4 ejes:

### Eje 1: Acciones de eficiencia energética

El valor monetario del consumo eléctrico anual de SACMEX es aproximadamente de 2 mil 400 millones de pesos (Toche, 2018), siendo el bombeo de agua una de las actividades que mayor consumo eléctrico requiere. En la Ciudad de México, en el año 2022, aproximadamente el 56% del abastecimiento provenía de 976 pozos que requieren de energía eléctrica para la extracción del agua; asimismo, SACMEX cuenta con 267 plantas de bombeo de agua potable para hacer llegar el recurso en zonas donde no puede fluir por gravedad o se requiere de presión adicional (Ramírez, 2024). Se requiere un diagnóstico que permita evaluar las mejoras que se pueden implementar para disminuir los costos.

### Eje 2: Evaluación de posibilidades de generación distribuida

Se requiere analizar las oportunidades técnicas y económicas para la generación eléctrica distribuida a partir de energías limpias dentro de la infraestructura de

SACMEX, que pudieran representar ahorros en la facturación eléctrica y una gestión más sustentable, ayudando en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.

### Eje 3: Telemetría en el consumo energético y condiciones hidráulicas

Se requiere conocer las necesidades de la medición en tiempo real y a distancia, tanto del consumo eléctrico como de las condiciones hidráulicas en los pozos, que a lo largo de la red hidráulica permitiría contar con información oportuna para optimizar la red, reducir el desperdicio en fugas, controlar los niveles de presión, optimizar el mantenimiento de los equipos y el tiempo de respuesta ante quejas por falta de suministro. La telemetría además permitirá hacer un diagnóstico preventivo, reducir los costos gracias a la automatización, generar un histórico de distribución del agua haciéndola más eficiente, facilitando el cumplimiento de las normas y regulaciones, brindado información crucial en casos de emergencia para minimizar impactos negativos y mejorar el servicio.

### Eje 4: Diagnóstico integral de la operación de pozos

Identificar y proponer requerimientos de infraestructura, técnicos, costos de implementación y mantenimiento que permitan mejorar la gestión del recurso hídrico mediante la optimización en la operación de las instalaciones.

Estos análisis y propuestas contribuirían a las metas establecidas tanto en la Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050 y el programa de acción climática 2021-2030.

## Alcances

---

En materia de eficiencia energética se realizará un diagnóstico que permita:

- Analizar el comportamiento de la facturación, consumo y demanda de energía eléctrica de al menos un año inmediato anterior de los sistemas electromecánicos de bombeo de agua de los sitios o pozos de extracción de agua, incluyendo la evaluación del factor de potencia de los sistemas electromecánicos de bombeo de agua y hacer propuestas que mejoren dicho factor (inversión, eficiencias, ahorros y periodo de recuperación).
- Recolectar información de los equipos instalados en los sitios de extracción de agua potable (ficha técnica de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía: CONUEE) e identificar si son los más apropiados, técnica y económicamente, para los sistemas electromecánicos de bombeo de agua.
- Determinar la energía consumida en cada pozo por cada metro cúbico de agua extraída.

En materia de generación distribuida se realizará un diagnóstico que permita conocer las posibilidades reales de implementar energías renovables.

En materia de telemetría respecto del consumo energético y las condiciones hidráulicas, se propondrán indicadores y manejo de datos para su análisis, que permitan:

- Plantear los requerimientos para el acondicionamiento y la implementación de telemetría en el consumo eléctrico en el bombeo de agua que podría generar información para la optimización y la eficiencia en el mantenimiento de los pozos.
- Evaluar la posibilidad de reducir y capturar emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en al menos 10% de las emisiones.





## Metodología

La metodología se divide en cinco etapas y se realizará de acuerdo con el cronograma establecido. Las etapas incluyen:

- Diseño de marco muestral considerando los requerimientos específicos y ubicaciones de los pozos.
- Evaluación teórica de los requerimientos necesarios para la ejecución del proyecto.
- Muestreo de los pozos y llenado de los formatos de pruebas en campo.
- Análisis de la información recopilada, elaboración de estrategias para la mejora de la eficiencia energética y de las necesidades de telemetría.
- Análisis técnico económico de la propuesta y elaboración del informe final.



## Resultados



### Diseño de marco muestral

Una parte importante del abastecimiento de agua en la Ciudad de México viene de pozos. Estos pozos tienen características muy diferentes entre sí, tanto por cuestiones geográficas (que implican accesibilidad y seguridad en muchos casos), de ingeniería (profundidad, interconexión, etc.) como de tecnología (telemetría, etc.). El primer paso fue la selección de los pozos, la cual se realizó de forma coordinada con el personal de SACMEX. Para esto se realizó una visita a las instalaciones de SACMEX donde nos reunimos con personal con experiencia y capacitado en el manejo y gestión de sitios de bombeo, de donde se consideró, valorando la variabilidad entre los pozos y el tiempo con el que se cuenta para la realización del proyecto que 10 pozos cumplieran los requisitos de ser una muestra representativa. Para lograr esta representatividad, se designaron pozos con diferentes profundidades, y variaciones en los perfiles de extracción del agua y condiciones hidráulicas en al menos



dos alcaldías diferentes. En la tabla 2 se muestran los pozos que serán objeto de evaluación en este proyecto con su ubicación e identificación por alcaldía: Coyoacán, Miguel Hidalgo y Cuauhtémoc. De igual manera figura 1 muestra la localización de los pozos en el mapa de la Ciudad.

Tabla 2. Pozos Seleccionados.

| Alcaldía       | Ubicación               | Identificación    |
|----------------|-------------------------|-------------------|
| Coyoacán       | Deportivo Durango       | P11DDURAN03494300 |
|                | Directo 25              | P11DIRT2503524200 |
|                | Los Coyotes             | P11COYOTE03494900 |
|                | Periférico 1            | P11PERI0103524500 |
|                | San Francisco Culhuacán | P11SFRACU03524900 |
|                | Auxiliar Xotepingo 1C   | P11AXO01C03524700 |
| Miguel Hidalgo | Casa Amarilla           | P03CAMARI16663700 |
|                | Alameda de Tacubaya     | P03ATACUB16653800 |
|                | Mar Mediterráneo        | P03MARMED16744000 |
| Cuauhtémoc     | Antonio M. Anza         | P01ANMANZ15664300 |



Figura 1. Distribución de pozos de interés en la CDMX (elaboración propia).



Aunque la mayoría de los pozos se ubican en la alcaldía Coyoacán, en la figura 1 se puede observar que se cubren varias regiones de la Ciudad de México con características geográficas diferentes.

## Eficiencia energética y calidad de la energía

El diagnóstico de eficiencia energética evalúa el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía del sistema de agua potable. Esta eficiencia se marca, desde el punto de vista eléctrico, por la calidad de la energía. La calidad de energía es “buena” cuando los dispositivos que se encuentran conectados funcionan satisfactoriamente. Un mal funcionamiento, equivalente a una mala o baja calidad de la energía, que implican variaciones en la intensidad de las fuentes de iluminación, reinicio de los equipos de control o de cómputo conectados a la red, etc. Una definición más técnica de la calidad de la energía la refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan al voltaje y a la corriente en un momento determinado y en una localización determinada en el sistema de energía (IEEE 1159:1995 “práctica recomendada del IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos para el control de la calidad de energía eléctrica”).

El **voltaje** (V) que recibimos de la red eléctrica nacional debe corresponder a una señal sinusoidal con fórmula:  **$V(t) = 170 \text{ sen } (120 \pi t)$**  (en V). El valor de 170 V es el **valor de pico (Vpp)** y es el valor máximo que alcanza la señal. Es más común trabajar con el **valor eficaz, Veficaz**, (valor cuadrático medio, valor rms, valor AC) que es el valor de energía de la señal, o sea, el valor de corriente alterna (AC) que produce la misma disipación de energía en una carga resistiva que un valor de corriente directa (DC). En nuestro caso  $V_{\text{eficaz}} = 120$  V, valor de voltaje con el cual se dimensionan los equipos. El número 120 en la ecuación de  $V(t)$  equivale a  $2 f$ , donde  $f = 60$  Hz es la frecuencia de la señal. Otro parámetro importante en este análisis es el **factor de cresta (CF)**, el cual es un factor de deformación que relaciona el valor eficaz y el valor de pico según:  **$CF = V_{\text{pp}}/V_{\text{eficaz}}$** . Para una señal sinusoidal este valor es  $\sqrt{2}=1.414$ , pero para señales con alto grado de deformación puede llegar hasta cuatro.



Una calidad de la energía “perfecta” implicaría, en el punto de conexión entre los pozos y CFE, un sistema trifásico de tensiones:

- Permanente en el tiempo.
- Totalmente equilibrado.
- Con forma perfectamente sinusoidal.
- De amplitud igual a su valor nominal.
- De frecuencia 60 Hz.

Cualquier variación de alguna de estas características se denomina perturbación y repercute como una disminución de la calidad en el servicio. Se establecen cuatro parámetros fundamentales que determinan la calidad de la onda de tensiones:

- Frecuencia.
- Amplitud.
- Forma.
- Simetría.

### Perturbaciones más comunes

- **Variaciones de frecuencia:** surgen generalmente cuando hay un desequilibrio entre la carga conectada al sistema (demanda) y la generación (oferta). Cuando la carga es inferior a la generación la frecuencia aumenta, lo que se corrige de forma más o menos sencilla actuando sobre los sistemas de regulación. Cuando la carga es mayor a la generación, la frecuencia disminuye, lo cual puede colapsar el sistema. Esto se puede corregir con apagones temporales regulados. En redes robustas, como la de la Ciudad de México (SEN: Sistema Eléctrico Nacional), estas modificaciones son poco probables, por lo que es algo que no se espera en este proyecto
- **Variaciones de voltaje:** son modificaciones en la amplitud del voltaje, y por tanto del valor eficaz de la onda de voltaje. Hay tres parámetros importantes a tomar en cuenta, valor de partida, valor final y tiempo de duración. Hay muchos tipos de variaciones de voltaje. Se pueden clasificar por **variaciones lentas**, cuando la duración es mayor a 60 segundos, o por

variaciones rápidas, cuando es menor. Las variaciones lentas en general se relacionan a fallas en el suministro, que puede ser por causas atmosféricas, pero también a un consumo no constante de energía o una distribución desigual de las cargas. Esto puede provocar efectos de voltajes altos (que puede causar sobrecalentamiento de receptores) o voltajes bajos (que afecta motores, mal funcionamiento de contactores y relés, etc.). Estos efectos de **variaciones lentas** se pueden corregir con reguladores en transformadores, protecciones de máximo y mínimo voltaje, etc. Por otra parte, las **variaciones rápidas** se pueden atribuir a la conexión o desconexión de una gran carga, entre otros efectos. Dentro de estas variaciones tenemos los **huecos de voltaje**, que son reducciones de voltaje por debajo de los valores permitidos con duraciones entre 10 s y 1 min. Estos huecos de voltaje pueden afectar una fase, dos o las tres, aunque en general son monofásicos y tienen profundidad inferior al 60 %. También podemos tener **microcortes**, que son faltas de voltaje en tiempos que van desde los milisegundos hasta los 10 s. Un microcorte es como un hueco de voltaje que afecta las tres fases con profundidad del 90-100 %. Ambos efectos pueden ser causados tanto por fallas en el sistema de transporte o distribución, como por el arranque de motores o cargas pesadas, y sea en la instalación o en los alrededores. Las variaciones rápidas de voltaje no son graves en general cuando son aisladas, pero si se repiten con frecuencia pueden generar inestabilidades en el sistema. Tanto microcortes como huecos de voltaje se tratan como un mismo fenómeno. Como el origen de estos fenómenos es muy variado, no pueden eliminarse por completo, aunque se pueden reducir dentro de ciertos límites. También se tienen las **interrupciones de voltaje**, que es cuando se desconecta la red de la fuente de suministro. Pueden ser cortas (1-3 min) o largas (>3 min) y se relacionan a estados defectuosos de la red. Estas interrupciones pueden afectar equipos sensibles. Por otra parte, las **subidas de voltaje (SurgeS, Overvoltage)** son aumentos de voltaje instantáneos que pueden ser causadas por

fallos en conexiones a tierra, desconexión de una carga muy grande, conexión de un gran condensador, entre otros efectos. Como son breves no tienen gran impacto en el equipamiento, aunque puede afectar la iluminación o generar problemas de seguridad

Otro aspecto que considerar es las **fluctuaciones de voltaje**, que son cambios periódicos o aleatorios en el voltaje de la red con duración desde pocos milisegundos hasta 10 s y de amplitud que no supere el 10 % del valor nominal. Estas variaciones pueden ser rectangulares o de forma irregular, de período constante o cambios irregulares, tanto en la forma como en el tiempo. Cuando a simple vista podemos detectar un cambio en la luminosidad de una lámpara producto de cambios de voltaje se le denomina **Flicker**. Estos efectos se originan por cargas conectadas a la red que tienen demandas de potencia variable y/o que presenten variaciones rápidas en su funcionamiento a lo largo de un período de tiempo. También se relaciona a la presencia de interarmónicos (más adelante se mencionarán los armónicos) con frecuencias cercanas a la frecuencia de la red. Estas perturbaciones pueden ser ocasionadas por el arranque de motores, compresores, máquinas herramientas en general, electrodomésticos con regulación automática, entre otros. Para prevenir estos efectos se deben revisar los lugares de conexión de las cargas, usar compensadores, estabilizadores, conectar condensadores en serie, etc. Por otro lado, los **sobrevoltajes transitorios** son variaciones bruscas del valor instantáneo de la amplitud del voltaje que pueden ser varias veces superior al valor nominal de ésta con duración entre algunos microsegundos y 10 ms. Con buenos niveles de aislamiento se logra inmunidad a estas variaciones, aunque algunos dispositivos semiconductores (diodos, transistores, triacs, etc.) tienen bajo nivel de inmunidad. Pueden ser impulsivas (mayor valor, pero muy cortas), las cuales se deben a descargas eléctricas en general, u oscilatorias, las cuales suelen encontrarse dentro de la propia instalación (por ejemplo, un motor con un contacto flojo en una de las fases).

Otro aspecto que disminuye la calidad de la energía son los **desequilibrios (unbalance)**. En particular, están los desequilibrios trifásicos, que se generan por un reparto



desigual de las cargas entre las tres ramas de una distribución trifásica y pueden ser tanto de voltaje como de corriente. El sistema sinusoidal trifásico se representa por tres vectores de igual módulo y desfasados  $120^\circ$ . Cuando los tres vectores tienen diferente magnitud, o los tres ángulos son distintos, se dice que existe desequilibrio. Los desequilibrios de corriente provocan que la corriente que circula por el neutro no sea nula, provocando un sobrecalentamiento en las cargas, cables y protecciones. Los **desequilibrios de voltaje** se originan por un incorrecto reparto de cargas en la instalación o por la presencia de armónicos. En los análisis de calidad de la energía también se debe considerar la conexión correcta de todos los conectores. Muchas veces no se pone suficiente interés al neutro en una conexión y esto puede generar **sobrevoltajes permanentes**, la cual engloba tanto el desequilibrio como los sobrevoltajes. En una instalación de un sistema trifásico la intensidad de las tres fases retorna por el neutro. Cuando el sistema está equilibrado, las tres corrientes se cancelan en el conductor de neutro, dando un **valor rms** nulo. Cuando hay un fallo de neutro, la corriente de una línea al no poder retornar por el neutro lo hace por alguna de las fases, generando un gran desequilibrio en el sistema. Este desequilibrio puede implicar aumentos excesivos los valores estándar de voltaje en alguna de las fases del sistema, llegando a provocar incluso riesgo de incendios. Las sobretensiones, tanto las transitorias como las permanentes por fallo de neutro, se pueden solucionar fácilmente mediante la colocación de protecciones contra sobretensiones en dicha instalación. Este sistema de protección es práctico, efectivo y económico al mismo tiempo.

Un aspecto que puede llegar a ser muy importante son los **armónicos**. Hablamos de una **perturbación armónica** cuando existe una deformación de la forma de la onda respecto de la senoidal pura. Los armónicos son tensiones o corrientes con una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental (por ejemplo, 120 Hz para la red de 60 Hz). Los armónicos hacen que la señal que generan las centrales eléctricas, prácticamente sinusoidal perfecta, se deforme en las redes de alimentación. En estos casos se dice que hay una **distorsión armónica**, la cual depende de los armónicos presentes, sus magnitudes y las fases en las que



se encuentren. El grado de deformación de una onda se cuantifica mediante la transformada rápida de Fourier, la cual descompone la señal en una suma de varias señales periódicas con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Estos armónicos se nombran por su orden, que no es más que la relación entre su propia frecuencia y la de la componente fundamental. La transformada de Fourier entonces nos da información sobre la amplitud de cada armónico, la cual se lleva a por ciento dividiendo entre la amplitud de la onda fundamental. Hay tasas definidas que no se deben rebasar (niveles CEM), en el tiempo, en un determinado porcentaje, las cuales se expresan en función del **factor de distorsión armónica total (THD)**, que no es más que una indicación del nivel porcentual de distorsión armónica con respecto de la señal principal. Por ejemplo, la tasa de distorsión total (TDH) admitida en sistemas de media (entre 1 y 30 kV) y baja tensión (menor a 1 kV) es 2% para el 2do armónico, 5 % para el 3ro, 6% para el 5to, 5 % para el 7mo, etc.

La clasificación de los armónicos se hace por orden, frecuencia y secuencia (Tabla 3).

**Tabla 3.** Clasificación de los armónicos.

| Orden | 1  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | ... | N    |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Frec. | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 420 | 480 | 540 | ... | 60 N |
| Sec.  | +  | -   | 0   | +   | -   | 0   | +   | -   | 0   | ... | ...  |

Respecto al orden se clasifican en pares e impares. Los **armónicos impares** son los de mayor interés en este estudio, pues son los que en general se encuentran en las instalaciones eléctricas, industriales y edificios comerciales. Por otra parte, los **armónicos pares** sólo existen cuando se produce asimetría en la señal debido a la componente continua. Con respecto a la secuencia, se puede observar en la tabla 3 que se clasifican en positivos (+), negativos (-) y nulos (0). Los de secuencia positiva hacen que el motor gire en el mismo sentido que la componente fundamental, lo que genera una sobrecorriente que provoca calentamiento en los cables, el motor, los transformadores e influye directamente en el deterioro del aislamiento entre de los devanados. Los de



secuencia negativa hacen girar el motor en sentido contrario, por lo que se frena el motor provocando también calentamientos y una reducción de la vida útil de ejes y engranajes. Los armónicos de secuencia cero, también llamados homopolares o armónicos triple-N (por ser múltiplos enteros de 3) no presentan efectos sobre el giro del motor, pero se suman en el cable de neutro. En las instalaciones trifásicas sin neutro no existen armónicos triple-N en las fases, pero el espectro final tendrá mayor contenido en el resto de los armónicos. Los armónicos se pueden generar tanto por la incorporación de cargas no lineales como por la propia red de suministro. Es interesante que las cargas no lineales que generan los armónicos son las más sensibles a ellos. Los armónicos son un fenómeno común en la práctica totalidad de las instalaciones eléctricas actuales y no se pueden eliminar, solo minimizar sus efectos adversos, como: un valor de la corriente de neutro más elevada que la de fase, aun cuando las corrientes de fase están bien equilibradas; Un calentamiento mayor de lo esperado los transformadores de potencia, aunque las cargas son inferiores a la nominal; no se pueden instalar las baterías de condensadores usadas para compensar potencia reactiva por un calentamiento excesivo, que incluso puede destruir los condensadores; magnetotérmicos y fusibles que saltan/funden a corrientes inferiores a los valores nominales, etc. La eliminación y prevención de los armónicos depende tanto de los fabricantes de los equipos como de los que lo usan. Los fabricantes deben diseñar equipos que generen menos armónicos, y que sean menos sensibles a estos. Los usuarios deben configurar correctamente sus rectificadores, filtros, etc. Es importante hacer un buen dimensionamiento de las fuentes y cargas. Es bueno llamar la atención sobre el hecho de que los armónicos se ven amplificados en condiciones de resonancia, condición que se suele dar cuando se colocan condensadores en la red para la corrección del factor de potencia.

La **potencia** se define como la multiplicación de la corriente por el voltaje. Pero en circuitos de corriente alterna esto es más complicado, pues los componentes capacitivos e inductivos no generan potencia activa, solo desfasan la corriente y el voltaje. Para representar esto se usa el plano complejo, donde los elementos resistivos (corriente en fase

con el voltaje) se representan en el eje X y los capacitivos e inductivos en el eje Y. Por eso definimos la **potencia activa (P)**, componente resistiva, eje de las X) y la **potencia aparente (S)**, plano XY). Además, tenemos la **potencia reactiva (Q)**, eje de las Y). Esta potencia no representa un consumo real de energía, pero hay que generarla y transportarla. A diferencia de las potencias activa y aparente (que se miden en W o kW), la potencia reactiva se mide en volt-ampere reactivos (Var). Con estos conceptos se puede definir el **factor de potencia** y el **cos  $\varphi$** . Por definición el factor de potencia es el cociente  $PF = P/S$ . Por otra parte, el  $\cos \varphi$  es el coseno del ángulo que forman la componente fundamental de la potencia activa y la aparente. Muchas veces se utilizan indistintamente el factor de potencia y el  $\cos \varphi$  como si fueran lo mismo, pero esto solo es estrictamente cierto si no hay armónicos. La presencia de armónicos hace que surja una tercera componente armónica en el eje de las Z, que modifica ligeramente el ángulo  $\varphi$  y por tanto su coseno. Aunque esta diferencia no es muy considerable, los equipos de medición dan en general estos dos valores por separado.

A las frecuencias que no son un múltiplo entero de la frecuencia fundamental se les denomina **interarmónicos**, pero estos en general son menos importantes. Hay otros efectos que también pueden influir en la calidad de la energía, aunque en general en menor medida. Por ejemplo, el **notching** es un fenómeno causado por rectificadores controlados que genera un cortocircuito entre dos fases en el momento de conmutación de corriente. El **ruido** es una señal de amplio espectro superpuesta al voltaje de suministro originado principalmente por equipamiento de telecomunicaciones, PC's y corrientes portadoras sobre líneas de transporte de energía. Para la supresión de estos dos efectos se pueden emplear inductancias en serie, filtros, transformadores aisladores y acondicionadores de línea.

El diagnóstico energético del motor se realiza mediante la recopilación de información en campo. Algunos de las condiciones observadas incluyen el voltaje de alimentación por debajo del nominal, desbalance del voltaje de alimentación al motor, desbalance de la corriente demandada por el motor, que el motor se encuentre trabajando con un factor de carga menor a 45%, entre otros (CONAGUA, 2012).



Los datos de la infraestructura eléctrica y mecánico-hidráulica son importantes para poder realizar el diagnóstico de eficiencia energética. Se debe documentar del motor eléctrico: la marca, el tipo, la capacidad, el voltaje de suministro, la corriente nominal, el número de polos, la velocidad a plena carga, el factor de servicio, la eficiencia nominal, la antigüedad, el número de rebobinados y la temperatura. En cuanto a las bombas se requiere su identificación, marca, tipo, modelo, material de carcasa, material del impulsor, caudal de diseño, carga de diseño y eficiencia de diseño. Estos parámetros se obtendrán directamente de la inspección física a los pozos y se completarán con el llenado de un formato establecido con CONUEE (todos los formatos se adjuntan en el anexo 1).

Los parámetros eléctricos para medir son: voltaje, corriente eléctrica, factor de potencia, potencia real o activa, y potencia reactiva. Se requiere de un equipo de medición como voltímetro, amperímetro, watímetro, o multímetro. En este proyecto se utilizó el equipo GSC 60, que es un instrumento multifunción para las verificaciones de seguridad eléctrica y análisis de red sobre instalaciones monofásicas y trifásicas. Con este equipo es posible realizar:

- Análisis de red y de los consumos energéticos.
- Anomalías de tensión con una resolución de 20ms@50Hz.
- Medida/Registro Potencia activa, Reactiva, Aparente.
- Medida/Registro Energía activa, Reactiva, Aparente.
- Medida/Registro Cosphi, Factor de Potencia.
- Registro Armónicos de Tensión y Corriente hasta el 49º y cálculo del THD%.
- Diagrama vectorial Tensiones/Corrientes.
- Formas de onda Tensiones/Corrientes.
- Tablas o histogramas Armónicos y THD%.
- Categoría de sobretensión CAT IV.

## Consumo energético

El consumo de energía en un sistema de bombeo de agua potable se debe, entre otras, a cuatro variables: volumen requerido, profundidad de captación, topografía del terreno y



distancia de la fuente de captación a los usuarios finales  
CONUEE: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la  
Energía, 2024. El consumo energético de las operaciones  
incluidas en el proceso del suministro de agua potable es,  
principalmente, energía eléctrica. En la tabla 4 se presenta la  
contribución aproximada de cada etapa en cuanto al  
consumo energético.

**Tabla 4.** Contribución aproximada de cada etapa en el consumo energético del agua.

| Etapa             | Operación                                       | Equipo                                                                                                | Impacto sobre el consumo global de energía (%) |
|-------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Captación         | Extracción de pozo profundo                     | Bombas de pozo profundo sumergibles o turbina de flecha                                               | 30-60                                          |
|                   | Captación de fuente superficial                 | Sistemas de bombeo centrífugos horizontales o verticales                                              | 0-10                                           |
| Acondicionamiento | Desinfección                                    | Bombas de dosificación tipo pistón                                                                    | 1-2                                            |
|                   | Potabilización                                  | Sistemas de bombeo                                                                                    | 5-10                                           |
| Conducción        | Envío del agua potable a la red de distribución | Bombas de pozo profundo sumergibles o turbina de flecha, bombas centrífugas horizontales o verticales | 0-40                                           |
| Distribución      | Almacenamiento - Rebombeo                       | Bombas centrífugas horizontales o verticales                                                          | 5-35                                           |
| Otras operaciones | Telemetría y control                            | Equipos electrónicos, sistemas de iluminación                                                         | 2-3                                            |

Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2024.

Un estudio realizado por el CMM: Centro Mario Molina en el 2011, determinó que el consumo eléctrico del recurso hídrico en la Ciudad de México equivale a 1.32 kWh por cada metro cúbico de agua. Este índice contempla el gasto energético que requiere el transporte del agua potable al consumidor final, más el gasto energético requerido para drenar, tratar y expulsarla de la cuenca. Realizando un estudio más concreto de los índices energéticos, este determinó que el índice energético de los pozos del SACMEX corresponde a

0.535 kWh/m<sup>3</sup> (Olivera-Villaroel, 2016; CONUEE, 2018; SACMEX, 2024, CMM, 2011). Los datos obtenidos en este estudio indican que con el paso del tiempo el ICE: Índice de Consumo Energético del ciclo del agua aumentará, elevando con ello la intensidad de carbono y el uso de recursos presupuestales para operar el sistema de manejo del agua en la Ciudad de México. Las emisiones estimadas para el consumo actual ascienden a 76,089 toneladas de CO<sub>2</sub>eq al año, de las cuales 25,497 corresponden al sistema pozos SACMEX (Olivera-Villaroel, 2016).

En el caso de este proyecto nos centramos en la eficiencia de los pozos de extracción de agua. Por esta razón, un parámetro importante es el costo del litro de agua bombeado. Para hacer este cálculo es suficiente considerar el consumo eléctrico reportado en el recibo de CFE de los pozos o en los datos de consumo reportados por SACMEX, y los datos de los litros bombeados reportados también por SACMEX. Otros aspectos como la captación o el acondicionamiento de agua, por ejemplo, quedan fuera de los objetivos de este trabajo. Estos valores se calcularon acorde a la disponibilidad de los datos para cada pozo y se contrastaron con los resultados de las mediciones en campo para la discusión de los resultados.

## Sistemas distribuidos

Un aspecto que puede influir considerablemente tanto en la disminución el costo asociado al bombeo como en la disminución de gases de efecto invernadero es la instalación de sistemas distribuidos de energías limpias. Estos sistemas se pueden interconectar a red, de forma que la electricidad que generan minimiza los gastos por consumo eléctrico. Hay muchas formas de generación distribuida, pero por la disponibilidad del recurso y la aplicación buscada, el trabajo se centra solamente en la energía solar, y en particular en la energía solar fotovoltaica. La instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados a red requiere un área disponible que no tenga sombreado y un punto de interconexión a red cercano para abaratar costos. La implementación de paneles solares estándar es de 440W. La demanda de electricidad de los pozos tiende a ser alta y considerando el área disponible no se ve viable que se pueda

instalar una capacidad equivalente a la demanda del pozo, pero tampoco debe ser la visión. Si se pudiera instalar una cantidad que presente un ahorro mensual de algunos cientos de pesos, al menos en la mitad de los pozos, eso podría representar un ahorro anual de varios millones de pesos a SACMEX en materia de consumo eléctrico. El otro aspecto que se debe considerar es el de las emisiones. el factor de emisión del sistema eléctrico nacional publicado el 29 de febrero del 2024 es de 0.438 tCO<sub>2</sub>e/MWh, lo que representa que se dejaría de emitir por cada MWh fotovoltaico generado. En este proyecto se realizó un análisis de los lugares disponibles en los pozos para la instalación de sistemas fotovoltaicos, considerando el área útil, sombreado, cercanía al punto de interconexión e incluso la seguridad en los pozos. En función de estos, se realizan propuestas que se presentarán en particular para cada uno de los pozos evaluados.

## Telemetría en pozos de agua potable

La telemetría es una técnica fundamental en la gestión de recursos hídricos, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas como la Ciudad de México (CDMX). Consiste en la recopilación y transmisión de datos a distancia, permitiendo la monitorización en tiempo real de parámetros críticos como niveles de agua, calidad, presión y flujo en pozos y tuberías. Este enfoque es vital para asegurar una distribución eficiente y sostenible del agua, optimizar el consumo energético, programar el mantenimiento de los pozos y minimizar las emisiones de carbono asociadas.

La telemetría ofrece una solución poderosa para mejorar la gestión del agua en la CDMX, permitiendo una supervisión precisa y en tiempo real de los recursos hídricos. Aunque enfrenta retos significativos, sus beneficios en términos de eficiencia, ahorro energético y sostenibilidad son invaluable. Con una implementación cuidadosa y un enfoque en la optimización de recursos, la telemetría puede transformar la manera en que se gestiona el agua en una de las ciudades más grandes del mundo.



## Telemetría en la gestión del agua en la CDMX

La CDMX enfrenta desafíos significativos en la gestión de su sistema hídrico debido a su tamaño, población y la complejidad de su infraestructura. La implementación de sistemas de telemetría permite una supervisión constante y precisa del estado del agua en pozos y tuberías, mejorando la toma de decisiones y la respuesta a incidentes. Además, ayuda a identificar fugas y pérdidas de agua, optimizar el uso de bombas y reducir el consumo energético. Podría incluso ser una herramienta para minimizar el vandalismo en pozos y conservar la infraestructura. Para implementar un sistema de telemetría eficiente en la CDMX, se deben considerar varios factores clave:

- **Tecnología y equipos:** La selección de sensores adecuados para medir parámetros como nivel, calidad, flujo y presión del agua es crucial. Los sensores deben ser robustos, precisos y capaces de operar en condiciones adversas.
- **Red de comunicación:** Es esencial una infraestructura de comunicación fiable para la transmisión de datos desde los sensores hasta los centros de control. Esto puede incluir redes celulares, radiofrecuencia, satélites o redes dedicadas.
- **Integración y análisis de datos:** Los datos recopilados deben integrarse en sistemas de gestión que permitan su análisis en tiempo real. Esto facilita la toma de decisiones informadas y la implementación de acciones correctivas rápidas.
- **Mantenimiento y seguridad:** Los sistemas de telemetría requieren un mantenimiento regular para asegurar su correcto funcionamiento. Además, la seguridad cibernética es una preocupación crítica, ya que la infraestructura hídrica es un objetivo potencial para ataques.
- **Eficiencia energética:** Dado el alto consumo energético asociado a la gestión del agua, es esencial optimizar el uso de bombas y otros equipos para reducir la huella de carbono y los costos operativos.



## Características del sistema de telemetría en funcionamiento

De la visita a los pozos se hace notar que en años previos se hizo un gran esfuerzo por parte de SACMEX para instalar telemetría en los pozos de la CDMX. Pero se requiere dar continuidad a este esfuerzo dando mantenimiento a las instalaciones y actualizando los sistemas con la inclusión de nuevas funciones. Un tema recurrente detectado es el vandalismo de las instalaciones. Entre los 10 pozos evaluados en este proyecto, los que actualmente no cuentan con un sistema de telemetría activo, ni con antenas, son Mar Mediterráneo y auxiliar Xotepingo 1C. En estos dos pozos los sistemas de telemetría habían sido vandalizados.

A continuación, se va a hacer un análisis de las consideraciones mencionadas en el apartado anterior de forma general para los sistemas instalados y posteriormente se detallarán las condiciones pozo por pozo.

Como se mencionó previamente, hay cinco aspectos claves en la instalación de un sistema de telemetría eficiente:

**1. Tecnología y equipos:** Esta parte se centra en los sensores o equipos de medición utilizados. Los sistemas de telemetría actualmente instalados miden gasto, flujo (también mencionado en el reporte como caudal) y parámetros eléctricos.

- El caudalímetro convierte la velocidad del agua en un valor de caudal volumétrico, proporcionando la cantidad de litros por segundo que están fluyendo. Todos los pozos visitados tienen un sensor de modelo Rosemount 8705, el cual es compatible con todos los transmisores de la serie 8700. Este es un caudalímetro magnético comercial, que no es más que es un transductor que mide la diferencia de potencial que se genera a través del líquido al pasar a través de un campo magnético. Esta diferencia de potencial es proporcional a la velocidad del agua perpendicular a las líneas de flujo del campo magnético. Estos caudalímetros están compuestos por un transmisor y un sensor. El sensor se coloca en línea, y mide el voltaje inducido al fluir el líquido por la tubería y el transmisor transforma el voltaje en una



medición de caudal y la envía al sistema de control. Este tipo de sensores son muy adecuados para la aplicación buscada ya que no son caros, miden en ambas direcciones, tienen menos problemas de obstrucciones y, sobre todo, ofrecen una medición precisa del caudal volumétrico. Por esta razón, se considera que el sensor utilizado es el adecuado para la aplicación buscada.

- Con respecto a la medición de las propiedades eléctricas, los pozos cuentan con “donas eléctricas” o “transformadores tipo dona”. En nombre viene de su forma circular, la cual permite que se coloquen alrededor de los cables de corriente y realizar las mediciones sin obstruir el paso de la corriente eléctrica. El principio de operación se basa en la inducción electromagnética: la corriente que pasa por el cable a medir genera un campo magnético en la bobina, el cual a su vez genera una corriente inducida que es fácil de medir y se relaciona a la corriente en el cable principal. Este tipo de sensores tienen un gran nivel de exactitud en la medición de los parámetros eléctricos, se pueden instalar en espacios reducidos sin afectar el flujo de la corriente y son eficientes y resistentes a interferencias. En este sentido, los sensores seleccionados son óptimos, aunque se podría evaluar la optimización. Esto se refiere a que los sistemas tienen dos juegos de donas, uno que usa el arrancador, y otro para el sistema de telemetría. Considerando que las donas pueden ser víctimas de vandalismo, se podría evaluar usar solo un juego de donas y tratar de extraer la información de los parámetros eléctricos del arrancador, el cual cuenta con una salida USB. Un último aspecto para considerar en estos sensores es el mantenimiento. Este mantenimiento se puede centrar en verificar que las conexiones y el aislamiento no se dañen, y hacer mediciones cada cierto tiempo con equipos calibrados para verificar la exactitud de las mediciones en el tiempo.

**2. Red de comunicación:** Esta parte se centra en la transmisión de la información. En los sistemas de telemetría instalados, una vez que el panel de control ha procesado los

datos, estos son transmitidos mediante una antena hacia una base de datos central. Además, hay que considerar que existen varias formas de transmisión de información, cada una con sus ventajas y desventajas:

- Radiofrecuencia (RF): Es una tecnología ampliamente utilizada en sistemas de telemetría debido a su bajo costo y facilidad de implementación. Sin embargo, su alcance puede ser limitado, y la señal puede verse afectada por interferencias y obstáculos físicos. La fidelidad de los datos es buena en distancias cortas, pero puede degradarse en entornos ruidosos o de larga distancia.
- Redes celulares (GPRS, 4G, 5G): Estas redes permiten la transmisión de datos a largas distancias con una alta fidelidad y confiabilidad, ya que utilizan infraestructuras ya establecidas. Son ideales para lugares donde la cobertura celular es buena, pero pueden generar costos recurrentes más altos y depender de la calidad del servicio del operador.
- Redes de baja potencia y largo alcance (LoRa, Sigfox): Estas redes están diseñadas para IoT y telemetría en áreas rurales o urbanas con una necesidad de baja potencia y largo alcance. Son económicas y pueden transmitir datos a larga distancia, pero la velocidad de transmisión es limitada, lo que puede no ser adecuado para aplicaciones que requieren un envío constante y rápido de grandes cantidades de datos.

Considerando la instalación actual, utilizando una tecnología como RF o redes celulares, sería prudente evaluar si no tienen repercusiones como pueden ser que la cobertura celular sea inestable, por lo cual, la adopción de redes de baja potencia como LoRa podría ofrecer una solución más robusta y económica, aunque con ciertas limitaciones en velocidad de transmisión. Mientras los sistemas sean funcionales, puede que no sea necesario actualizarlos, considerando la inversión necesaria. Pero para los sistemas que han sido vandalizados, los que no tienen telemetría, o para mejorar la calidad del servicio en general, se proponen a continuación dos soluciones a corto y largo plazo para la implementación de telemetría en la gestión del agua.

- Solucio´n a corto plazo: Implementacio´n de Tecnologı´a IoT.

La solucio´n a corto plazo se centra en la implementacio´n de dispositivos IoT con tecnologı´a LoRaWAN en los pozos de la CDMX. Esta tecnologı´a permite una rápida implementacio´n con costos más bajos y es ideal para áreas donde la cobertura celular es limitada. La flexibilidad y escalabilidad de IoT facilitarán la recoleccio´n de datos en tiempo real, lo que permitirá una gestión más eficiente del agua (Tabla 5).

Ventajas:

- Costos de implementacio´n más bajos.
- Facilidad y rapidez de instalacio´n.
- Flexibilidad y escalabilidad.
- Menor susceptibilidad al vandalismo al ser de bajo perfil.

**Tabla 5.** Propuesta de sistema de telemetrı´a a corto plazo.

| Concepto                              | Cantidad | Costo Unitario (MXN)     | Costo Total (MXN)        |
|---------------------------------------|----------|--------------------------|--------------------------|
| Sensores IoT (nivel, caudal, presión) | 20       | \$12 000. <sup>00</sup>  | \$240 000. <sup>00</sup> |
| Gateways LoRaWAN                      | 5        | \$25 000. <sup>00</sup>  | \$125 000. <sup>00</sup> |
| Antenas y equipo de comunicacio´n     | 5        | \$15 000. <sup>00</sup>  | \$75 000. <sup>00</sup>  |
| Instalacio´n y configuracio´n         | 1        | \$100 000. <sup>00</sup> | \$100 000. <sup>00</sup> |
| Capacitacio´n                         | 1        | \$50 000. <sup>00</sup>  | \$50 0000. <sup>00</sup> |
| Total                                 |          |                          | \$590 000. <sup>00</sup> |

La implementacio´n de tecnologı´a IoT con LoRaWAN permite una solucio´n rápida y efectiva para la recoleccio´n de datos y la gestión de los pozos de agua en la CDMX. Es una solucio´n económica que aborda las necesidades inmediatas de monitoreo y gestión.

- Solucio´n a largo plazo: migracio´n a redes celulares y satelitales.

A largo plazo, se propone una migracio´n gradual a sistemas de telemetrı´a basados en redes celulares y satelitales, especialmente en áreas donde la cobertura de red es crítica. Estos sistemas proporcionan una cobertura más amplia y mayor fiabilidad en la transmisión de datos,

permitiendo una gesti3n m1s centralizada y eficiente del sistema h3drico de la CDMX.

Ventajas:

- Amplia cobertura y alta fiabilidad.
- Ideal para 1reas remotas y de dif3cil acceso.
- Capacidad para transmitir grandes vol3menes de datos en tiempo real.

Desventajas:

- Costos operativos y de implementaci3n m1s altos.
- Dependencia de operadores de red y posibles problemas de latencia en condiciones extremas.

El presupuesto a largo plazo estimado por pozo es el siguiente:

Tabla 6. Propuesta de sistema de telemetr3a a largo plazo.

| Concepto                                       | Cantidad | Costo Unitario (MXN) | Costo Total (MXN) |
|------------------------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Sensores IoT/celular (nivel, caudal, presi3n)  | 20       | \$15 000.00          | \$300 000.00      |
| Dispositivos de transmisi3n celular/satelital  | 20       | \$30 000.00          | \$600 000.00      |
| Antenas y equipo de comunicaci3n especializado | 10       | \$20 000.00          | \$200 000.00      |
| Mantenimiento anual                            | 1        | \$200 000.00         | \$200 000.00      |
| Instalaci3n y configuraci3n                    | 1        | \$150 000.00         | \$150 000.00      |
| Capacitaci3n Avanzada                          | 1        | \$75 000.00          | \$75 000.00       |
| Total                                          |          |                      | \$1 525 000.00    |

La migraci3n a sistemas basados en redes celulares y satelitales proporciona una soluci3n robusta y escalable, que asegura una mayor cobertura y fiabilidad a lo largo del tiempo, permitiendo una gesti3n m1s centralizada y eficiente del sistema h3drico de la CDMX.

**3. Integraci3n y an1lisis de datos:** Este punto se centra en la recepci3n de la informaci3n que llega de los sensores, el procesamiento y la gesti3n de esta informaci3n. El sistema de telemetr3a que se encuentra en funcionamiento cuenta con

un transformador, unos PLC de marca Motorola, sistemas de protección y la parte de transmisión. El sistema recibe los litros de agua extraídos, el voltaje y la intensidad eléctrica, y procesa y monitorea la información, asegurando el correcto funcionamiento del pozo y la integridad del sistema eléctrico. El uso de los PLC (Controladores Lógicos Programables) en la tecnología actual debe ser reevaluado considerando varios factores:

- Costo: Los PLC suelen ser costosos tanto en adquisición como en mantenimiento. Podrían considerarse alternativas como microcontroladores avanzados (p. ej., Arduino, ESP32) o computadoras de placa única (Raspberry Pi) que ofrecen una capacidad de procesamiento similar a un costo considerablemente menor.
- Vandalismo: Este es un problema serio en estos sistemas. Los PLC son equipos reconocibles de alto valor. Considerar sistemas más compactos y discretos podría reducir el riesgo de vandalismo, ya que pueden ocultarse o integrarse en lugares menos accesibles.
- Viabilidad de reemplazo: Mantener un sistema idéntico al existente tiene la ventaja de la familiaridad, pero reemplazarlo por un sistema más moderno y económico podría ofrecer beneficios a largo plazo. Un sistema compacto y eficiente podría reducir los costos operativos.

Alternativas al uso de PLC para el análisis de datos.

El uso de PLC ha sido un estándar por su fiabilidad y capacidad para operar en entornos industriales. Sin embargo, en el contexto específico de los pozos de la CDMX, hay alternativas que podrían ofrecer ventajas significativas en términos de costo, seguridad, y mantenimiento.

#### 1. Microcontroladores avanzados (e.g., Arduino, ESP32):

Ventajas:

- Costo: Los microcontroladores como Arduino o ESP32 son significativamente más económicos que los PLC.

- Flexibilidad: Estos dispositivos pueden ser programados para realizar tareas específicas de monitoreo y control.
- Discreción: Su tamaño compacto y diseño modular permite una instalación más discreta, lo cual reduce el riesgo de vandalismo.

#### Desventajas:

- Capacidad de procesamiento: Son eficientes para tareas simples, pero su capacidad de procesamiento y durabilidad en entornos industriales es inferior.
- Mantenimiento: Requieren una mayor personalización y podrían necesitar ajustes o mantenimientos más frecuentes en comparación con los PLC.

## 2. Computadoras de placa única (e.g., Raspberry Pi):

#### Ventajas:

- Costo: Las Raspberry Pi son más económicas que los PLC y ofrecen una capacidad de procesamiento superior a la de los microcontroladores.
- Versatilidad: Pueden ejecutar sistemas operativos completos, permitiendo la integración de software más avanzado para el análisis y procesamiento de datos.
- Reducción del Vandalismo: Su tamaño compacto y capacidad para ser ocultas mejoran la seguridad del sistema.

#### Desventajas:

- Robustez: Aunque versátiles, no están diseñadas específicamente para entornos industriales extremos, lo que podría afectar su durabilidad.
- Interfaz de Usuario: Requiere un software avanzado para su configuración y monitoreo, lo que aumenta la complejidad del sistema.

3. Sistemas basados en nube con IoT:

Ventajas:

- Acceso remoto: Permite el an'alisis y monitoreo de datos desde cualquier ubicaci3n con acceso a internet.
- Escalabilidad: Facilita la expansi3n del sistema sin necesidad de infraestructura adicional.
- Costos operativos: Eliminar el uso de hardware local reduce costos a largo plazo.

Desventajas:

- Seguridad de datos: El uso de sistemas en la nube genera riesgos de seguridad cibern'etica.
- Dependencia de conectividad: Requiere una conexi3n a internet fiable y continua.

A continuaci3n, se anexa una propuesta de presupuesto (solo del m3dulo de an'alisis de datos) por pozo.

Opci3n 1: Microcontroladores Avanzados (Arduino, ESP32):

Tabla 7. Propuesta de sistema de telemetría para la opci3n 1.

| Concepto                            | Cantidad | Costo Unitario (MXN) | Costo Total (MXN) |
|-------------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Microcontrolador ESP32              | 1        | \$500.00             | \$500.00          |
| Sensores (caudal, presi3n, voltaje) | 3        | \$1 500.00           | \$4 500.00        |
| Fuente de alimentaci3n              | 1        | \$1 000.00           | \$1 000.00        |
| Mantenimiento y configuraci3n       | 1        | \$3 000.00           | \$3 000.00        |
| Total por pozo                      |          |                      | \$9 000.00        |

Opción 2: Computadora de placa única (Raspberry Pi):

Tabla 8. Propuesta de sistema de telemetría para la opción 2.

| Concepto                            | Cantidad | Costo Unitario (MXN) | Costo Total (MXN) |
|-------------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Raspberry Pi4                       | 1        | \$2 000.00           | \$500.00          |
| Sensores (caudal, presión, voltaje) | 3        | \$1 500.00           | \$4 500.00        |
| Módulo de Expansión GPIO            | 1        | \$800.00             | \$800.00          |
| Fuente de alimentación              | 1        | \$1 000.00           | \$1 000.00        |
| Mantenimiento y configuración       | 1        | \$3 500.00           | \$3 500.00        |
| Total por pozo                      |          |                      | \$11 800          |

Opción 3: Sistema IoT basado en la nube:

Tabla 9. Propuesta de sistema de telemetría para la opción 3.

| Concepto                      | Cantidad | Costo Unitario (MXN) | Costo Total (MXN) |
|-------------------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Dispositivo IoT con Nube      | 1        | \$3 000.00           | \$3 000.00        |
| Sensores IoT                  | 3        | \$1 500.00           | \$4 500.00        |
| Mantenimiento y configuración | 1        | \$4 000.00           | \$4 000.00        |
| Total por pozo                |          |                      | \$11 500.00       |

4. Mantenimiento y seguridad:

Los sistemas que no se mantienen adecuadamente tienden a fallar más rápido, lo que puede resultar en costos elevados de reparación y riesgos para la operación continua. El mantenimiento adecuado de los sistemas de telemetría es fundamental para garantizar su operación continua y evitar fallos costosos. A lo largo de los años, los sistemas instalados en los pozos de la CDMX han enfrentado desafíos



relacionados con la falta de mantenimiento, lo que ha derivado en fallos y, en algunos casos, ha dejado los sistemas vulnerables al vandalismo. Aunque no se han recabado datos específicos sobre el historial de mantenimiento de los sistemas actuales, es evidente que se requiere una estrategia de mantenimiento preventiva y correctiva más robusta.

#### Propuesta de solución:

##### 1. Implementación de un programa de Mantenimiento Preventivo:

- Frecuencia: Establecer un cronograma de mantenimiento preventivo para inspeccionar y mantener los sistemas de telemetría al menos una vez cada seis meses.
- Componentes Clave: Revisar y asegurar la integridad de los sensores, antenas, conexiones eléctricas, y sistemas de protección contra sobretensiones.
- Documentación: Llevar un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento, incluyendo las reparaciones realizadas y las recomendaciones para futuras intervenciones.

##### 2. Mejora de la seguridad física:

- Refuerzos anti-vandalismo: Implementar medidas adicionales, como cerraduras reforzadas, cajas de seguridad, y cámaras de vigilancia en los pozos más vulnerables.
- Diseño compacto: Considerar la instalación de sistemas más compactos y discretos que sean menos susceptibles a ataques vandálicos.

##### 3. Monitoreo remoto y alarmas:

- Monitoreo continuo: Integrar sistemas de monitoreo remoto que alerten al centro de control ante cualquier intento de manipulación o fallo del sistema.
- Alarmas locales: Instalar alarmas sonoras y visuales que disuadan actos de vandalismo y alerten tanto a los campamentos y el centro de monitoreo, como a las autoridades locales.

Para garantizar la seguridad y un control eficiente de los pozos de SACMEX, se propone la implementación de un

sistema integrado que combine seguridad física, telemetría, y automatización de mantenimientos.

1. Seguridad y alertamiento de intrusos:

El sistema de seguridad debe incluir sensores de movimiento, cámaras de vigilancia con visión nocturna y un sistema de alertamiento de intrusos en tiempo real. Este sistema estará conectado a una plataforma centralizada que utiliza HTTPS para garantizar la transmisión segura de datos. La autenticación de dos pasos (2FA) se implementará para acceder al sistema, asegurando que solo el personal autorizado pueda gestionar o visualizar la información.

2. Automatización y control de mantenimientos:

Una herramienta clave para mejorar la seguridad y el control en los pozos es la automatización de los mantenimientos, el acceso a las instalaciones y el registro de cualquier reemplazo de equipos. Existen softwares de fácil manipulación que permiten programar y registrar cada acceso a los pozos por parte del personal de SACMEX. Esto incluye la identificación de las personas que acceden, el tiempo de permanencia y el trabajo realizado.

3. Integración con el sistema de telemetría:

Este software de automatización se integrará con el sistema de telemetría existente, lo que permitirá un control exhaustivo y en tiempo real de los mantenimientos y de los equipos que han sido reemplazados. La telemetría no solo monitoreará el estado operativo del pozo, sino que también alertará sobre cualquier anomalía o intrusión detectada por el sistema de seguridad.

4. Gestión centralizada:

El sistema ofrecerá una interfaz centralizada donde se podrá gestionar tanto la seguridad como la operación del pozo. Todas las acciones estarán encriptadas y protegidas mediante HTTPS y 2FA, y se mantendrán registros detallados de accesos y actividades. Esto permitirá a SACMEX tener un control preciso y en tiempo real de sus instalaciones, mejorando la seguridad y eficiencia operativa.

Este enfoque asegura que tanto la seguridad física como el control operativo del pozo estén integrados y optimizados, aprovechando tecnologías avanzadas y protocolos de seguridad.

5. Eficiencia energética:

Los sistemas actuales de telemetría en los pozos de la CDMX dependen principalmente de la red eléctrica convencional, lo que puede resultar en altos costos energéticos y una dependencia poco sostenible. Además, el uso de PLC's tradicionales, aunque efectivo, puede no ser la opción más eficiente en términos energéticos. El uso de microcontroladores de bajo consumo en lugar de PLC's podría ofrecer una solución más eficiente. Además, considerar fuentes de energía renovable, como paneles solares, podría hacer que el sistema sea más sostenible y menos dependiente de la red eléctrica convencional.

Propuesta de solución:

1. **Uso de microcontroladores de bajo consumo:**

- Alternativa a los PLC: Reemplazar los PLC tradicionales por microcontroladores de bajo consumo (e.g., ESP32, Arduino), que ofrecen un rendimiento adecuado para la mayoría de las tareas de monitoreo y control con un consumo energético significativamente menor.

Ventajas: Estos dispositivos no solo son más económicos y discretos, sino que también reducen el consumo de energía, lo que se traduce en menores costos operativos.

2. **Integración de energías renovables:**

- Paneles Solares: Instalar paneles solares en los pozos para alimentar los sistemas de telemetría, lo que reduciría la dependencia de la red eléctrica y mejoraría la sostenibilidad del sistema.
- Baterías de respaldo: Incorporar baterías de respaldo para almacenar energía y asegurar la operación continua de los sistemas en caso de interrupciones en la red eléctrica.

3. Optimización del uso de energía:

- Modulación de consumo: Implementar algoritmos de optimización que ajusten el consumo energético según las necesidades operativas, minimizando el uso de energía durante periodos de baja demanda.

Las Tablas 10 y 11 presentan una propuesta de presupuesto por pozo para mantenimiento y seguridad mejorada.

Tabla 10. Implementación de mantenimientos y seguridad mejorada.

| Concepto                       | Cantidad | Costo Unitario (MXN)   | Costo Total (MXN)       |
|--------------------------------|----------|------------------------|-------------------------|
| Dispositivo IoT con Nube       | 1        | \$5 000. <sup>00</sup> | \$5 000. <sup>00</sup>  |
| Refuerzos anti-vandalismo      | 1        | \$3 500. <sup>00</sup> | \$3 500. <sup>00</sup>  |
| Sistema de Monitoreo y alarmas | 1        | \$4 000. <sup>00</sup> | \$4 000. <sup>00</sup>  |
| Total por pozo                 |          |                        | \$12 500. <sup>00</sup> |

Tabla 11. Implementación de soluciones de Eficiencia Energética.

| Concepto                           | Cantidad | Costo Unitario (MXN)   | Costo Total (MXN)       |
|------------------------------------|----------|------------------------|-------------------------|
| Microcontroladores de bajo consumo | 1        | \$1 500. <sup>00</sup> | \$1 500. <sup>00</sup>  |
| Paneles solares                    | 1        | \$8 000. <sup>00</sup> | \$8 000. <sup>00</sup>  |
| Baterías de respaldo               | 1        | \$4 500. <sup>00</sup> | \$4 500. <sup>00</sup>  |
| Total por pozo                     |          |                        | \$14 000. <sup>00</sup> |

Evaluación en los pozos

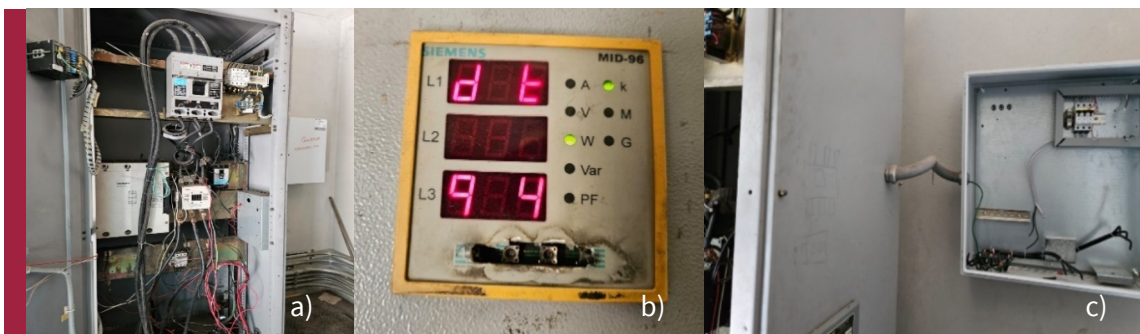
Pozo Periférico 1, alcaldía Coyoacán

Este pozo se encuentra ubicado en Av. Jacarandas 370, Cd Jardín, Coyoacán, 04370 Ciudad de México, CDMX. El pozo es de bombeo sumergible con tuberías de impulsión de acero galvanizado instrumentado con válvulas de retención y control, así como un sensor de gasto y presión (ver figura 2). Inyecta a la red, pero en ocasiones se ha utilizado para abastecer pipas. El pozo cuenta con medidores de gasto y presión, así como de los parámetros eléctricos.



**Figura 2.** Pozo Periférico 1.

Actualmente este pozo está a tensión plena, pues el arrancador está fuera de servicio posiblemente por algún corto que lo afectó. Por tanto, las conexiones pasan directamente del transformador al interruptor termomagnético y del interruptor al pozo (figura 3a). El monitor que indica el estado de las fases no cuenta con los botones para poder operarlo (figura 3b). El gabinete de control no cuenta con puesta a tierra. A un lado de este gabinete hay uno más chico, donde estaba la instalación de los capacitores, pero fueron vandalizados (figura 3c).



**Figura 3.** a) Gabinete de control, b) monitor del arrancador y c) cable capacitores en el Pozo Periférico.

Durante las mediciones eléctricas en el gabinete se detectaron que algunas conexiones físicas hechas en las fases a la entrada del interruptor termomagnético no están bien realizadas generando puntos calientes en la instalación. De hecho, después de realizar las mediciones durante 3 minutos las 3 sondas de medición estaban calientes debido a los puntos calientes generados por las malas conexiones. Se recomienda reemplazar el arrancador y mejorar las

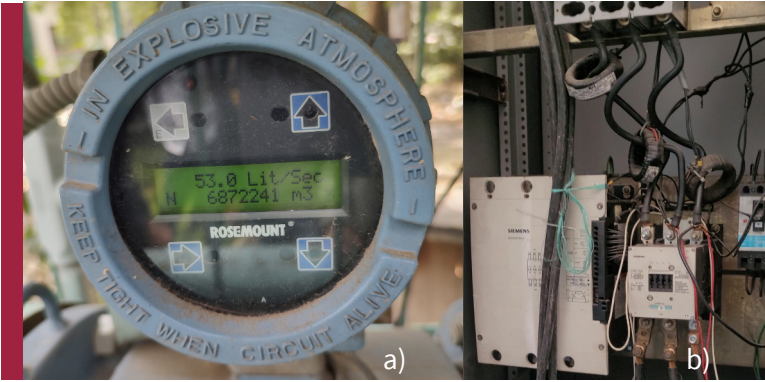
conexiones eléctricas en todos los puntos para evitar pérdidas provocadas por la instalación. De las mediciones eléctricas se pudo observar que la frecuencia es de aproximadamente 60 Hz, tal y como se esperaba. Los voltajes entre las fases están alrededor de 430 V y las corrientes sobre los 150 A. Esto da una potencia de 94.1 kW y un factor de potencia de 0.85. Se puede observar que las fases están conectadas en la secuencia correcta y hay un pequeño desbalance entre las cargas. Más adelante se discutirán un poco más estos resultados y se presentarán algunos resultados de los armónicos y otros parámetros medidos. Lo adecuado en las mediciones eléctricas es hacer la medición por toda una semana, grabando períodos de 10 minutos, para poder evaluar los resultados considerando hora del día, día de la semana y otros aspectos como el encendido de los pozos. Esto no es posible, en primer lugar, por la poca seguridad de los pozos, donde no se recomienda dejar equipos tan costosos sin resguardo toda la semana. Sin embargo, este pozo está ubicado justo al lado del centro de control y frente al campamento de esta zona, lo que le da un poco más de seguridad. Al ser el pozo más resguardado de todos los pozos visitados, se recomienda que se generen las condiciones para hacer una medición más larga, dejando el equipo medidor de calidad de energía (GSC60) un tiempo más prolongado (de ser posible toda la semana). El pozo tiene sistema de telemetría en funcionamiento (figura 4) y un sistema de dosificación de cloro.



**Figura 4.** Sistema de telemetría del pozo Periférico 1.



La figura 5 muestra el medidor de flujo y las donas que permiten la medición de las propiedades eléctricas. La información se transmite por radio al centro de monitoreo. Cuenta con la antena en la parte superior de la caseta de control. Aunque este sistema funciona correctamente, al estar a pocos metros del centro de control, se podría valorar la conveniencia de hacer una conexión alámbrica al centro de control y así tener una comunicación más confiable y segura, al mismo tiempo que se ahorraría todo lo relativo a los sistemas de transmisión de la información.



**Figura 5.** a) Medidor de flujo y gasto. b) imagen del arrancador, donde en los cables superiores se encuentran las donas para la medición de parámetros eléctricos del pozo Periférico 1.

Para el análisis de la posible instalación de sistemas fotovoltaicos se requiere en primer lugar la ubicación y orientación del pozo. El pozo se encuentra en las coordenadas 19°19'59" N y 99°08'37" con una altitud de 2,247 metros (figura 6).



**Figura 6.** Vista aérea del pozo Periférico 1 y área propuesta.

Para la propuesta de instalación del SFV en el pozo Periférico 1 se tiene planeado el techo donde se encuentran los tableros de control, al ser esta un área adecuada para la

instalación ya que tienen 24.44 m<sup>2</sup> (ver figura 7). Los únicos obstáculos para la instalación son la antena de transmisión de datos que puede ser reubicada dentro del mismo techo y unas ramas de un árbol cercano al techo. En la foto de la figura 7 se puede apreciar como una parte pequeña del techo es cubierta por la sombra de sus ramas. Esta área permitiría la instalación de aproximadamente 1.6 kWp (considerando paneles estándar de 400 Wp), lo cual puede generar 2,600 kWh/año.



**Figura 7.** Vista aérea del pozo Periférico 1 y área propuesta.

### Pozo Auxiliar Xotepingo 1C

Este pozo se encuentra ubicado en Retorno. 21 46, Avante, Coyoacán, 04460, Ciudad de México, CDMX. La figura 8 muestra una imagen del pozo.

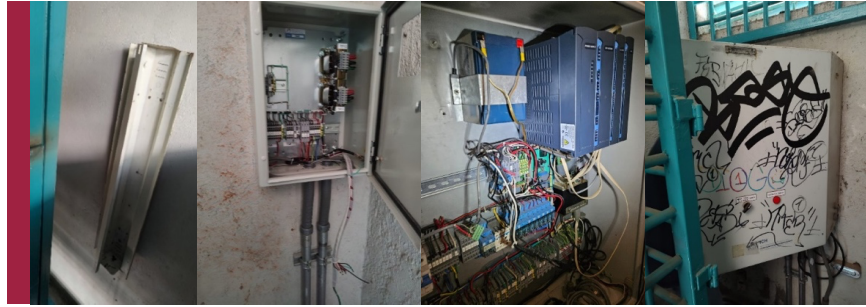


**Figura 8.** Imagen del pozo Auxiliar Xotepingo 1C.

Este es un pozo que en su tren de descarga cuenta con los sensores de medir gasto y flujo. Inyecta a la red local. Tiene también medición de los parámetros eléctricos del pozo. Cuenta con una reja protectora para evitar los robos en la instalación. Esta medida no ha sido efectiva, ya que se puede apreciar que la iluminación en el cuarto del gabinete está dañada y sin lámparas. El vandalismo también es notorio

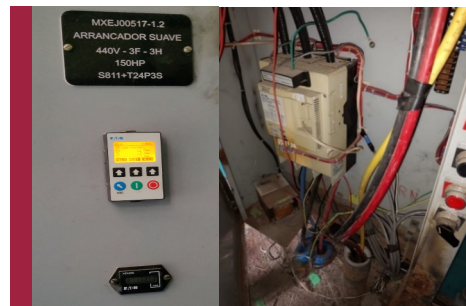


en los gabinetes de comunicación y donde se encontraban los capacitores, hay piezas faltantes y ambos sistemas están abandonados (figura 9).



**Figura 9.** Imagen del vandalismo en el pozo Auxiliar Xotepingo 1C.

El pozo cuenta con un arrancador EATON E611, el cual funciona bien a pesar del vandalismo (figura 10). Como se comentó, no tiene capacitores.



**Figura 10.** Arrancador EATON 611 del pozo Auxiliar Xotepingo 1C.

En la figura 10 se observa que el cableado eléctrico necesita una mejor organización. Se debe revisar que los cables que conducen las fases no sean diferentes entre cada una de las conexiones, esto puede representar un problema ya que las variaciones en la conductividad se traducen en pérdidas de energía. El pozo no cuenta con tierra física. En este pozo las fases 1 y 2 están invertidas entre sí, esto por parte de la distribución de CFE, lo que se comentará más adelante. El voltaje entre fases está por debajo de lo que se debería. De las mediciones eléctricas se obtiene una frecuencia de 60 Hz, los voltajes entre las fases están alrededor de 429 V y las corrientes sobre los 150 A con un desbalance muy pequeño. Esto da una potencia de 94.3 kW y un factor de potencia de 0.85.

Como se comentó previamente, en este pozo el sistema de telemetría no estaba en funcionamiento por. Si se mantuvieron los PLC, pero el sistema estaba desconectado (figura 9). La propuesta aquí sería reactivar el sistema de telemetría e implementarlo como en los demás pozos, ya que al parecer varios de los elementos más costosos del sistema, como los PLC, no están dañados. Para esto es necesario revisar las partes faltantes y hacer la reconexión. En este pozo también se encontraba instalada la antena de transmisión.

Para el análisis de la instalación de fotovoltaicos primero se determinó que este pozo se encuentra en las coordenadas  $19^{\circ}19'54''$  N y  $99^{\circ}08'06''$  W a una altitud de 2,242 metros, como se muestra en la figura 11a. En este pozo se podrían usar los techos de la caseta (figura 11b).



**Figura 11.** a) Vista aérea y b) área seleccionada para instalar fotovoltaicos en el pozo Auxiliar Xotepingo 1C.

La instalación del sistema fotovoltaico se propone en el techo del cuarto de control (figura 12). La superficie tiene un área de  $17.5 \text{ m}^2$  disponibles para la instalación del sistema y el único obstáculo es la antena de transmisión de datos (figura 12), que puede ser reubicada. Esta área permitiría la instalación de aproximadamente 1.2 kWp, generando 1,950 kWh/año.



**Figura 12.** a) Medidas del perímetro y b) foto actual del estado del techo en el pozo Auxiliar Xotepingo 1C.

### Pozo Coyotes

Este pozo se encuentra ubicado en Av. H. Escuela Naval Militar S/N, Coapa, Ex-Ejido de San Pablo Tepetlapa, Coyoacán, 04900 Ciudad de México, CDMX, a la salida del zoológico Coyotes. La figura 13 muestra una imagen del pozo.



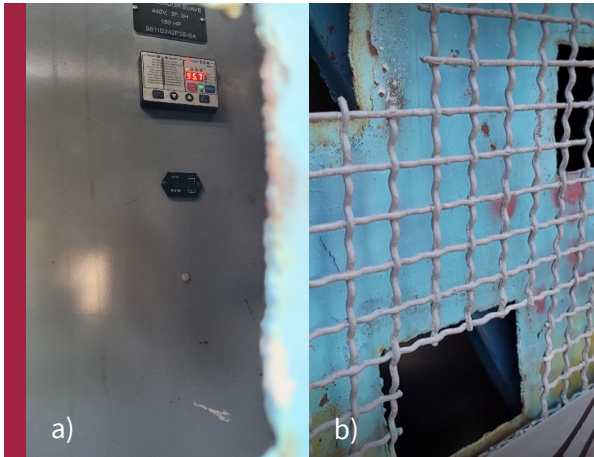
**Figura 13.** Imagen del pozo Coyotes.

Este es un pozo que tiene un tubo de salida en su tren de descarga muy cercano al mínimo de 60 cm que está de acuerdo con lo recomendado por el “PROY-NOM-016-CONAGUA-2023, Requisitos durante la construcción, operación, mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos” en la salida de su tren de descarga. La tubería de salida del tren de descarga está ubicada directamente en la calle. Por esta razón el sistema de medición de gasto y presión se encuentra al interior de las instalaciones, pero el sensor colocado en la tubería no se puede observar directamente dónde está, debe ser bajo la calle a la salida del pozo (ver figura 14).



**Figura 14.** Medidor de flujo e imagen de la calle donde pasa la tubería y debe encontrarse el sensor.

Este pozo tiene como arrancador un E 611, el cual funciona bien (figura 15a).



**Figura 15.** a) Arrancador y b) protección del gabinete en el pozo Coyotes.

El encendedor se encuentra en un gabinete tiene doble protección, una coraza de hierro y una reja para evitar robos, el cual da directamente a la calle (figura 15b). No se puede acceder a este gabinete desde el interior, lo cual hace imposible la medición de los parámetros eléctricos en el arrancador. En este pozo las mediciones se hicieron en el transformador, para al menos tener alguna referencia.

No se sabe si se cuenta con tierra física, pues no se puede hacer inspección visual por la protección del gabinete. La tierra física es esencial para proteger los equipos y las personas de posibles descargas eléctricas y para estabilizar las tensiones dentro del sistema. Sin una tierra adecuada, las corrientes parásitas y las sobretensiones no se pueden disipar correctamente, lo que aumenta el riesgo de fallos en los equipos. Como solución, se debe instalar un sistema de puesta a tierra adecuado para asegurar la estabilidad y seguridad del sistema eléctrico. De igual manera, no hay banco de capacitores. El banco de capacitores puede aumentar la eficiencia energética al mejorar el factor de potencia en sistemas eléctricos. Los capacitores compensan la energía reactiva generada por cargas inductivas, como motores y transformadores, lo que reduce la cantidad de corriente que necesita ser suministrada por la red eléctrica. Al disminuir la corriente total, se reducen las pérdidas de

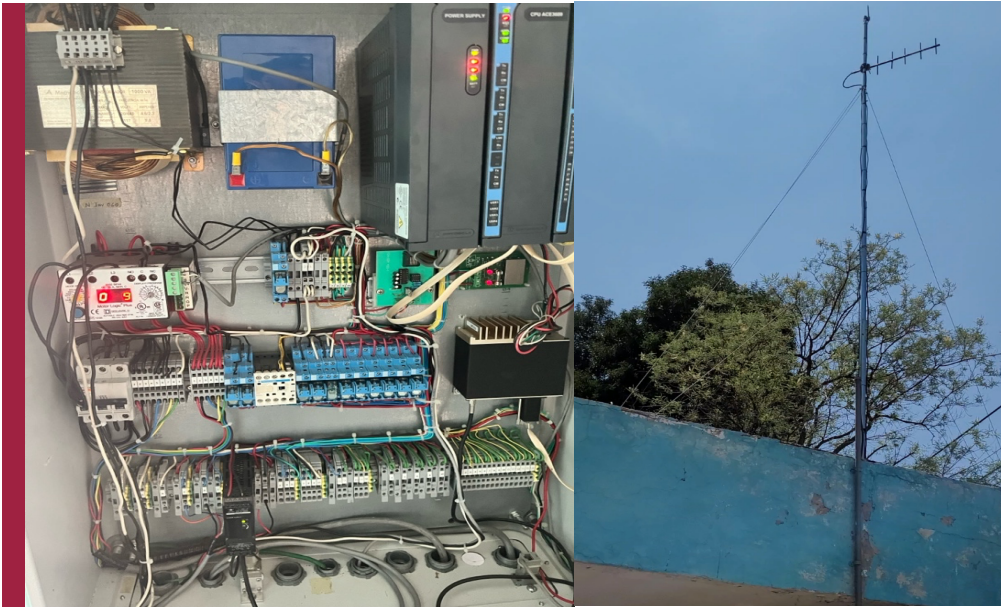
energía en los conductores y en otros componentes del sistema.

Como ya se comentó, las mediciones se hicieron a la salida del transformador, por la imposibilidad de medir en el gabinete. Es importante acceder al gabinete para medir el equipo en un futuro. De los valores medidos se puede observar que la frecuencia está en 60 Hz, los voltajes entre fases están sobre los 428 V, con un valor ligeramente mayor en la fase 3 y las corrientes oscilan entre los 92.5 y los 96.6 A, variando en cada una de las fases.

El pozo contó en algún momento con un sistema de alarma visual y sonora, pero en estos momentos está desactivado. Este sistema puede ser muy útil, al estar en una zona pública, donde se puede llamar la atención muy fácilmente en caso de algún intento de vandalismo. También contaba con sistemas de alarmas en las puertas, pero están desactivadas. La activación de estos sistemas de alarma y la conexión al sistema de telemetría puede ser una herramienta importante en la disminución del vandalismo en los pozos. La conexión al sistema de telemetría permite que al activarse la alarma se pueda poner en alerta los campamentos, pero también que de forma oportuna se avise a la policía para disminuir este tipo de incidentes. Se debe hacer un convenio con la policía local para que la alarma les llegue directamente y puedan apoyar en la disminución de los actos vandálicos en las instalaciones de los pozos.

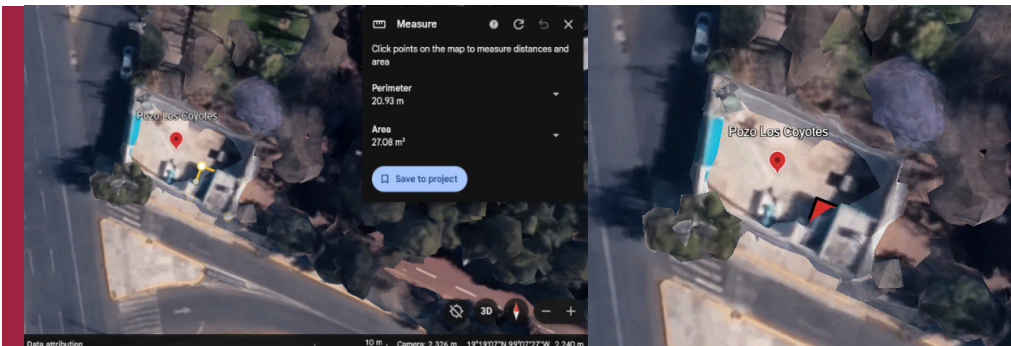
Este pozo cuenta con un sistema de telemetría en funcionamiento, como se muestra en la figura 16. El sistema de telemetría está en otra caseta al interior del pozo. Aunque no es exactamente el mismo modelo de PLC de los pozos anteriores, es de la misma marca (Motorola) y el sistema funciona de forma muy similar. En la misma figura 16 a la derecha se puede observar la antena que transmite la información.





**Figura 16.** Sistema de telemetría y antena de comunicación del pozo Coyotes.

El pozo se encuentra ubicado en las coordenadas N  $19^{\circ}19'08''$  y O  $99^{\circ}07'28''$  (figura 17).



**Figura 17.** Ubicación y representación del área que se propone utilizar en el pozo Coyotes.

La propuesta para la instalación del sistema fotovoltaico (SFV) en este pozo es utilizar el techo del cuarto del gabinete de control y si fuera necesario extender el área designada cerca de 2 m hacia la entrada del pozo. Esta área seleccionada no está siendo utilizada como área de trabajo o como espacio para la grúa de carga. Si se considera el área sombreada de color naranja en la figura 17 para la instalación del sistema fotovoltaico, se contaría con un área aproximada de  $27 \text{ m}^2$ . Esta área permitiría la instalación de aproximadamente 2.4 kWp, generando 3,900 kWh/año.

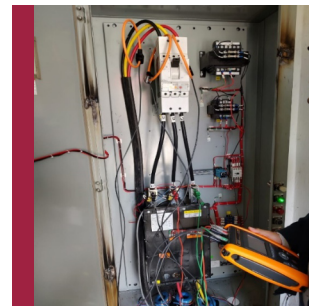
### Pozo San Francisco Culhuacán

Este pozo se encuentra ubicado en Av. H. Escuela Naval Militar, Col. San Francisco Culhuacán de la Magdalena, 04260 Ciudad de México, CDMX. La figura 18 muestra una imagen de este pozo.



**Figura 18.** Pozo San Francisco Culhuacán.

Este es un pozo que cuenta con un tubo de salida de distancia mínima de acuerdo con PROY-NOM-016-CONAGUA-2023 en el tren de descarga y cuenta con sensores de gasto y un arrancador E611 en funcionamiento. La bomba se rehabilitó tres días antes de la visita, al igual que la caseta y es de fácil acceso. No presenta signos de vandalismo. El diámetro de la tubería del pozo es de 5.75 in (0.15 m) siendo menor al diámetro usualmente utilizado en tuberías de pozo (8 in o 0.20 m), probablemente relacionado a la rehabilitación de la bomba. Las líneas están correctamente identificadas, y la instalación está bien ordenada.

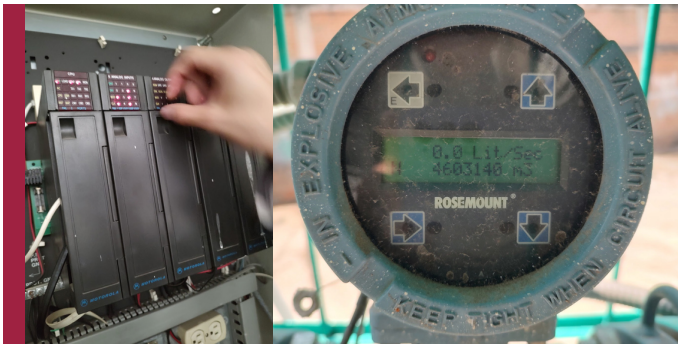


**Figura 19.** Gabinete de control en el pozo San Francisco Culhuacán.

La figura 19 muestra el arrancador, donde se puede observar la organización de los cables en el panel de control y el equipo utilizado para las mediciones eléctricas. Las mediciones eléctricas muestran que la frecuencia es de aproximadamente 60 Hz, los voltajes entre las fases están

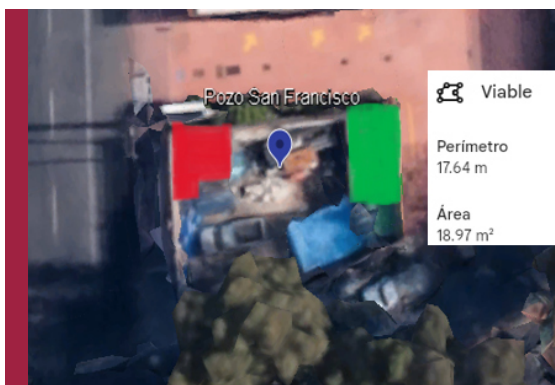
alrededor de 448 V y las corrientes sobre los 84 A con un desbalance muy pequeño. El utilizar voltajes mayores y menor corriente (comparado con los pozos anteriores) puede ayudar a disminuir el calentamiento en los motores y mejorar su tiempo de vida útil.

Este pozo cuenta con un sistema de telemetría en funcionamiento, como se muestra en la figura 20, que mide gasto, flujo, y parámetros eléctricos. Este pozo se encuentra en una zona urbana, con lo cual se debería considerar instalar sistemas de alarma visual y sonora.



**Figura 20.** Sistema de telemetría y medidor de flujo en el pozo San Francisco Culhucán.

El pozo se encuentra ubicado en las coordenadas 19°19'56.3"N 99°07'24.4"W (figura 21).



**Figura 21.** Representación del área que se propone utilizar en el pozo San Francisco Culhucán.

En este pozo se cuenta con la caseta de cloración de forma independiente a la del equipo de telemetría por lo que se encuentran en distintos lugares. La parte sombreada en verde es la caseta de telemetría la cual consideramos viable para instalación de SFV y cuenta con un área de 18.97 m<sup>2</sup>



(figura 21). El área sombreada en rojo hace referencia a la caseta de cloración, la cual tiene gran parte de su área con sombra de parte de arbustos cercanos, por lo que se descarta para implementar SFV. Esta área permitiría la instalación de aproximadamente 1.6 kWp (considerando 4 paneles de 400 Wp), generando 2,600 kWh/año.

### Pozo Directo 25

Este pozo se encuentra ubicado en Papalotl 155, Pedregal de Santo Domingo, Coyoacán, 04369 Ciudad de México, CDMX. Se encuentra en zona urbana, colindando con una escuela y una unidad habitacional. Cuenta con un tren de descarga largo con válvulas de control y sensores funcionales. Cuenta con un arrancador E811 que se conecta en modo automático. El gabinete del pozo cuenta con una protección soldada, esto debido a la inseguridad de la zona, imposibilitando que el gabinete se deje expuesto (figura 22). Esto presentó una dificultad al realizar la medición de los parámetros eléctricos, pero pudo hacerse al final a través de la protección. La pantalla que indica los valores del gabinete no está en completo funcionamiento. En este pozo el transformador se encuentra al nivel del suelo (imagen a la derecha en figura 22), lo que permitió que se hicieran mediciones eléctricas tanto a la salida del transformador como en el gabinete de control.



**Figura 22.** Arrancador E811, protección del gabinete de control y transformador del pozo Directo 25.

Hay varias cosas que llaman a atención en las mediciones eléctricas en este pozo. Lo primero es que los

voltajes entre fases suministrados por CFE (valores medidos en el transformador) están alrededor de los 416 V, muy por debajo de lo esperado (440 V). El otro aspecto importante por resaltar es que las fases 1 y 2 están invertidas entre sí, esto igualmente por parte de la distribución de CFE. Cuando revisamos los datos de las mediciones en el gabinete de control se observa una disminución considerable en el voltaje de la fase 3, lo cual provoca un desbalance en los voltajes de las tres fases. Esto provoca a su vez que la potencia activa en las fases dos y tres se vaya casi a cero dando factores de potencia de 0.05 y 0.34, respectivamente.

Se revisaron las conexiones y se detectaron varios problemas. En la figura 23 se puede observar que los cables están empalmados. Esto afecta la eficiencia, ya que estos empalmes pueden no ser lo suficientemente seguros o duraderos, especialmente en un entorno húmedo o con vibraciones, como este pozo. Si la cinta aislante no se aplica correctamente o se degrada con el tiempo, puede exponerse el conductor, lo que puede ocasionar un cortocircuito. Otro problema es que el empalme puede no mantener una buena conexión eléctrica, lo que provoca caídas de tensión y calentamiento en la unión. Se recomienda mejorar la instalación eléctrica en la conexión a la bomba. Otra situación que se detectó al realizar las mediciones eléctricas fue una presencia de armónicos considerable en la instalación eléctrica (ver figura 24). Este aspecto se retomará en la discusión general de los resultados, pero se recomienda una segunda medición en este pozo.

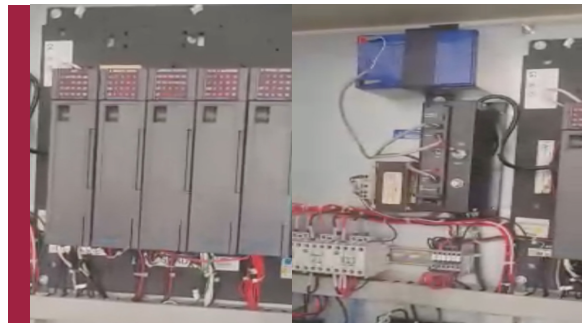


**Figura 23.** Imagen de los cables de conexión a las bombas en el pozo Directo 25.



**Figura 24.** Imagen del equipo y la presencia de múltiples armónicos en las mediciones del pozo Directo 25.

El sistema de telemetría en este pozo se encuentra en funcionamiento y mide gasto, flujo y variables eléctricas. La figura 25 muestra el sistema de telemetría instalado, el cual tiene la misma configuración del sistema instalado en Periférico 1 (figura 4).



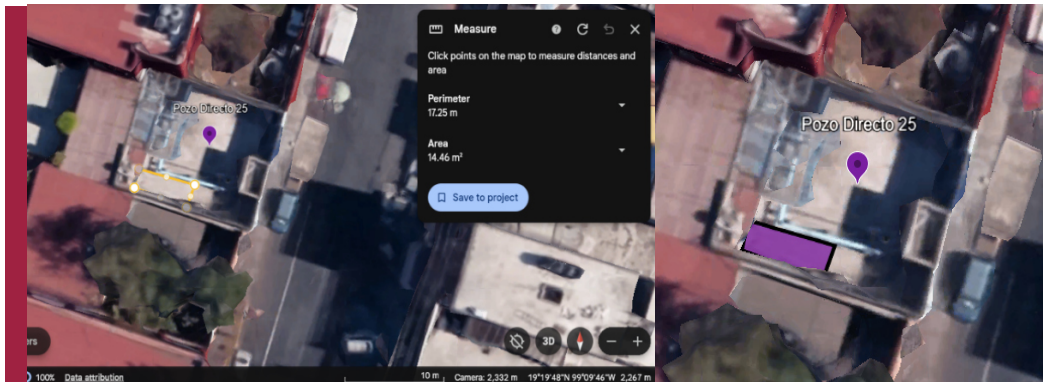
**Figura 25.** Sistema de telemetría en funcionamiento del pozo Directo 25.

En este pozo el sistema de telemetría no tiene puerta, lo que contrasta con la seguridad que tiene el gabinete de control (figura 26). Se recomienda un sistema de seguridad adecuado, el cual podría ser un control de entradas y salidas, en conjunto con alarmas.



**Figura 26.** Caseta del sistema de telemetría del pozo Directo 25.

El pozo se encuentra ubicado en las coordenadas N19°19'48" y O 99°09'46". La propuesta para la instalación del sistema fotovoltaico (SFV) en este pozo es utilizar principalmente el pasillo de la parte izquierda del pozo, marcado en morado en la figura 27. Este pasillo conduce al cuarto que se encuentra al fondo del lugar, esta área está en desuso, por lo que no afectará a la maniobrabilidad de la grúa, a su vez de que no está designada como área de trabajo, por lo que es un espacio idóneo para el SFV. De esta forma se designa el área sombreada de color morado para el SFV, quedando un área aproximada de 14.5 m<sup>2</sup>, solo para la parte del pasillo. De ser necesario se puede tomar parte del techo del cuarto. Esta área permitiría la instalación de aproximadamente 1.2 kWp, generando 1,950 kWh/año.



**Figura 27.** Área propuesta para la instalación del sistema fotovoltaico en el pozo Directo 25.

### Pozo Deportivo Durango

Este pozo se encuentra ubicado en Calpulli, Adolfo Ruíz Cortínez, Coyoacán, 04630 Ciudad de México, CDMX. Este pozo se encuentra al interior de un Deportivo, lo cual da algunas ventajas en materia de seguridad. Es un pozo que al igual que otros en la salida del tren de descarga se encuentra en la distancia mínima recomendada de 60 cm por el PROY-NOM-016-CONAGUA-2023, el cual está instrumentado con válvulas de control y cuenta con sensores de medición de flujo y parámetros eléctricos. El sistema es austero y el gabinete se encuentra enjaulado para evitar posible vandalismo, aunque de igual manera es susceptible a robos. En estos momentos no tiene arrancador, funciona a tensión plena (ver figura 28). Es un sistema trifásico operando a una tensión de 270 V, y una corriente de 91.7 A.



**Figura 28.** Gabinete de control del pozo Deportivo Durango.

En este pozo se puede detectar que hay vibración en el piso, lo que podría causarse por un montaje incorrecto o una base inadecuada. Esto lleva a un funcionamiento ineficiente y un mayor consumo de energía. Las vibraciones pueden forzar a los equipos a trabajar más para compensar las irregularidades, generando pérdidas de energía y mayor desgaste. Se propone realizar una revisión y ajuste del montaje, asegurando una base estable y bien alineada. Del mismo modo, revisar el funcionamiento del motor y la bomba. Esto reducirá las vibraciones y optimizará el rendimiento de todo el sistema.

Las mediciones eléctricas en este pozo mostraron una frecuencia de 60 Hz, los voltajes entre las fases están alrededor de 430 V y las corrientes sobre los 150 A. Esto da una potencia de 94.1 kW y un factor de potencia de 0.85. Se puede observar que las fases están conectadas en la secuencia correcta y el desbalance entre las cargas es muy pequeño.

Este pozo tiene el sistema de telemetría funcionando, así como el sistema de dosificación de cloro, el cual todos los pozos tienen. El sistema de telemetría de este pozo no cuenta con opción de arrancado remoto. Esto es útil en el caso de este pozo, ya que el acceso es difícil. Además, facilita la automatización y la respuesta ante situaciones que requieren encender o reiniciar el equipo rápidamente.

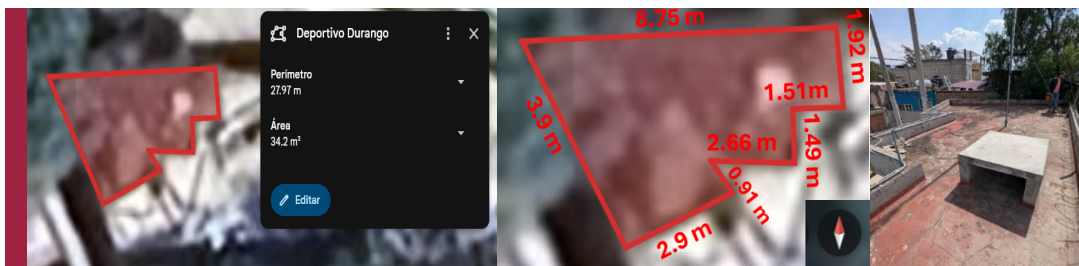
La figura 29 muestra el sistema de telemetría instalado en el pozo Deportivo Durango.





**Figura 29.** Sistema de telemetría en funcionamiento en pozo Deportivo Durango.

En el caso de este pozo la seguridad es muy importante para los equipos como transformadores y equipos eléctricos, debido a su rol en la operación continua y eficiente del sistema de bombeo de agua. Cualquier falla o daño en estos componentes puede interrumpir el suministro de agua y afectar la eficiencia del sistema, aumentando los costos operativos a corto plazo y disminuyendo la vida útil de los equipos.



**Figura 30.** Vista aérea y área propuesta para la instalación del SFV en pozo Deportivo Durango.

El pozo Deportivo Durango se encuentra en las coordenadas  $19^{\circ}19'00''$  N y  $99^{\circ}09'30''$  W a una altitud de 2,275 m (figura 30). El área propuesta para la instalación del sistema SFV son los techos del centro de control de cloración, que en conjunto tienen un área de  $34.2 \text{ m}^2$  (figura 44). Los obstáculos posibles son la antena de transferencia de datos, una base que se piensa era para un tinaco, sin embargo, esta no representa un obstáculo complicado de evitar. El mayor obstáculo observable es un árbol que se encuentra sobre la calle, pues parte de sus ramas proyectan su sombra a los techos propuestos. Esta área permitiría la instalación de

aproximadamente 2.4 kWp (considerando 6 paneles de 400 Wp), generando 3,900 kWh/año.

### Pozo Casa Amarilla

Este pozo se encuentra ubicado en Av. Parque Lira 136, San Miguel Chapultepec I Secc., Miguel Hidalgo, 11850 Ciudad de México, CDMX. La figura 31 muestra una imagen superior del pozo.



**Figura 31.** Ubicación del pozo Casa Amarilla.

Como se observa en la figura 31, el pozo está ubicado por debajo del nivel del suelo, se requiere bajar por una escalera para poder revisar las instalaciones. Solo está expuesta la zona donde se encuentra la bomba, para poder sacarla y realizar las labores de mantenimiento o reemplazo. El tipo de bomba con la que cuenta es sumergible o de eje vertical, este tipo de bombas están diseñadas para operar a profundidades de hasta 350 metros. El diámetro de la tubería que es de 8 pulgadas y en el momento de la visita había un flujo de 43.18 L/s.

La caseta de control cuenta con una puerta de seguridad (figura 32) y cada sistema de control cuenta con una reja independiente. Aunque se encuentra en el centro del Parque Lira, el pozo no cuenta con una vigilancia continua y no se han podido evitar actos de vandalismo.



**Figura 32.** Puerta de seguridad de la caseta de control y gabinete de control del pozo Casa Amarilla.

El sistema electromecánico cuenta con un arrancador E611 que permite arrancado remoto, aunque está en arrancado automático (figura 32). El pozo no cuenta con iluminación en el cuarto donde está el arrancador. La jaula donde se encontraba el arrancador estaba soldada lo cual dificultó tomar las mediciones eléctricas. El gabinete está colgando de la jaula, amarrado por alambres de cobre. En el gabinete hay cables de menor diámetro, con uno de sus extremos conectado directamente de las fases y el otro extremo suelto, aislado con cinta eléctrica, y enrollado a la jaula protectora del gabinete. Se presume que estos cables son para hacer mediciones sin desoldar la jaula, pero esta instalación es peligrosa, ya que las ramificaciones de las fases no están señalizadas y se impide el correcto cierre del gabinete. El sistema de tierras está sujeto a la estructura de metal y no cuenta con un banco de capacitores.

La frecuencia medida es de 60 Hz, el voltaje entre fases de 453 V y la corriente está sobre los 125 A aproximadamente. El equipo no arroja valores para la potencia aparente y los factores de potencia que se reportan son mucho menores a lo esperado (0.7). Se deben repetir mediciones por períodos de tiempo más largos y revisar otros parámetros a ver a que se deben estos factores de potencia tan bajos. Se deben tomar en cuenta las consideraciones



hechas previamente sobre las instalaciones el3ctricas, para mejorar estos par3metros.

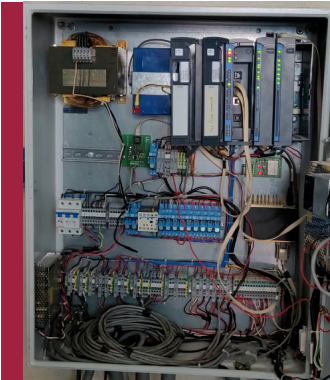


Figura 33. Sistema de telemetría del pozo Casa Amarilla.

El pozo cuenta con un sistema de telemetría que funciona correctamente, el cual se muestra en la figura 33, y un sistema de dosificaci3n de cloro.

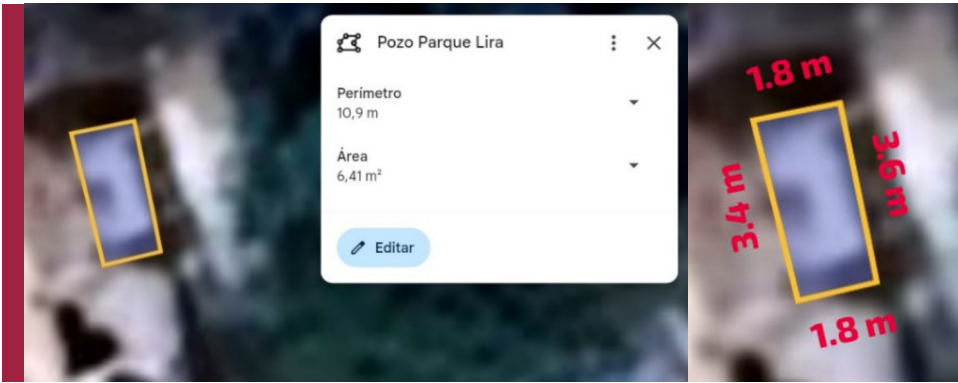


Figura 34. Sistema de telemetría del pozo Casa Amarilla.

Para este pozo lo m3s viable sería utilizar la caseta de control para la instalaci3n de los paneles. El 3rea de esta caseta se muestra en la figura 34. Esta 3rea permitiría la instalaci3n de aproximadamente 400 kWp, generando 650 kWh/año.

Pozo Antonio M. Anza

Este pozo se encuentra ubicado en Campeche, Centro Urbano Pdte. Juárez, Roma Sur, Cuauhtémoc, 06760 Ciudad de México, CDMX. El pozo Antonio M. Anza es un pozo con un tren de descarga que cuenta con las válvulas y sensores requeridos (figura 35). Se encuentra ubicado en una Unidad

Habitacional que tiene vigilancia, lo cual le da un poco más de seguridad. El motor y la bomba operan las 24 horas, 720 horas al mes con un caudal de 40 L/s. El pozo no se apaga en ningún momento al menos que presente una falla. En la parte exterior del pozo se percibe vibración en el piso, cerca del pozo. Se presume que puede ser ocasionado a un montaje incorrecto o una base inadecuada.



**Figura 35.** Pozo Antonio M. Anza.

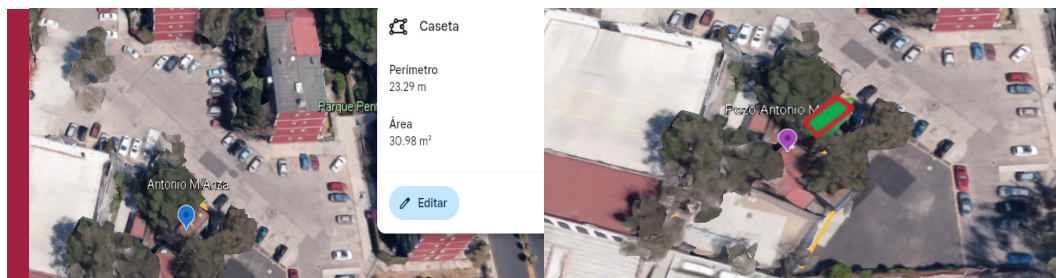
La figura 36 muestra que el pozo cuenta con un arrancador E611, el cual se encuentra dentro de una jaula de metal para proteger el equipo. La caseta de control cuenta con puerta de seguridad y rejas de seguridad al interior de esta. El arrancador cuenta con su sistema de tierras, 3 líneas de fase bien distribuidas, cada una marcando una diferencia de potencial de 430 V y una corriente de 95 A y no cuenta con un banco de capacitores. Parte de los cables están dañados, posiblemente por la instalación, se recomienda revisar el cableado eléctrico, ya que las conexiones al interruptor termomagnético no parecen ser lo suficientemente adecuadas para el tipo de instalación.



**Figura 36.** Imágenes de la caseta de control y del interruptor en el pozo Antonio M. Anza.

Las mediciones eléctricas indican una frecuencia de 60 Hz, voltajes entre fases de 429 V y corrientes de 150 A. En este pozo el factor de potencia fue de 0.85 y el desbalance es muy pequeño. Este pozo cuenta con el sistema de telemetría activo, el cual es similar al del pozo Periférico 1, así como un sistema de dosificación de cloro.

Las coordenadas de este pozo son 19°24'37"N 99°09'30"W y se encuentra a 2,238 m sobre el nivel del mar. La figura 37 muestra la ubicación del pozo.



**Figura 37.** Ubicación del pozo Antonio M. Anza.

El área sombreada en verde corresponde a la caseta de cloración y telemetría, la cual podría tomarse en cuenta para la implementación de SFV siempre y cuando las sombras de los árboles conjuntos lo hagan viable, se considera esta área ya que no afecta el mantenimiento de los pozos. Dicha área tiene un perímetro aproximado de 23.29 m y un área de 30.98 metros cuadrados (figura 54). Esta área permitiría la instalación de aproximadamente 2.4 kWp, generando 2,600 kWh/año.

### Pozo Mar Mediterráneo

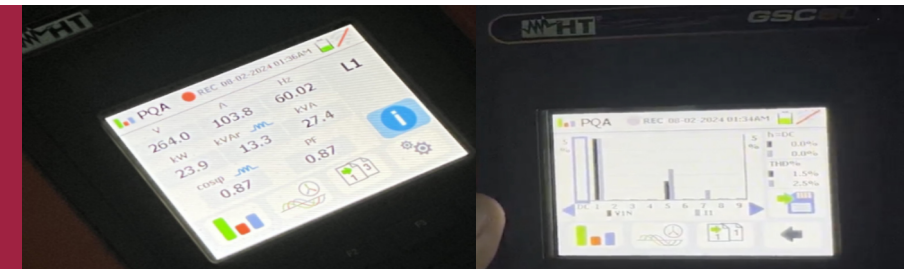
Este pozo se encuentra ubicado en Calz. México-Tacuba 323-353, Santo Tomás, Miguel Hidalgo, 11340 Ciudad de México, CDMX. En la figura 38 se observa que este es un pozo que la salida del tren de descarga se encuentra cerca de la distancia mínima recomendada de 60 cm por el PROY-NOM-016-CONAGUA-2023. Se puede apreciar el sensor medidor de gasto y flujo en el tren de descarga. En esta misma figura se puede observar al fondo la caseta de control, la cual cuenta con una puerta de seguridad y en la imagen de la derecha se muestra, como se ha mencionado en casos anteriores, que cada sistema de control tiene una reja

independiente. Este pozo cuenta no cuenta con iluminación dentro del cuarto de control, ni con un sistema de tierras.



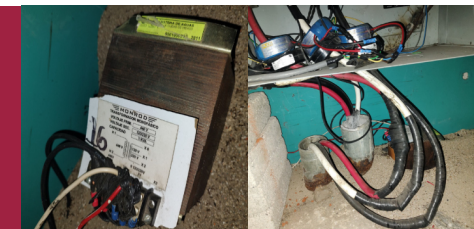
**Figura 38.** Caseta y seguridad del pozo Mar Mediterráneo.

Las mediciones entre tensiones fueron de 457 V y una corriente de 103 A. La figura 39 muestra la medición en una de las líneas y la presencia de armónicos de 5º y 7º orden.



**Figura 39.** Mediciones eléctricas en el pozo Mar Mediterráneo.

En la figura 40 se observa el transformador que convierte de 440 V a 120/220 V, el cual se encontraba fuera del tablero, en la parte de abajo. Esto no es adecuado, pues en esta zona hay exposición a condiciones como humedad y principalmente polvo, ya que se encontraba dentro de un hormiguero. Esto podría ocasionar accidentes como cortos circuitos, además de que se dificulta el acceso, por lo que se sugiere que se recoloque en su lugar ideal. De igual manera los cables están empalmados, lo que puede ocasionar caídas de tensión y calentamiento en la unión.



**Figura 40.** Conexiones eléctricas en el pozo Mar Mediterráneo.



Los reportes de las mediciones eléctricas muestran una frecuencia de 60 Hz, voltajes entre fases de 452 V y corrientes de 103 A. Este pozo reporta un factor de potencia bastante alto de 0.87, en comparación con los pozos anteriores.

No había antena, ni sistema de telemetría instalado en este pozo, pero el medidor de gasto y flujo si está en funcionamiento. El pozo cuenta con alarmas, las que sería adecuado acoplar al sistema de telemetría, una vez que este se instale.

El pozo se encuentra en las coordenadas 19°27'06"N 99°10'25"W y se encuentra a 2,245 m sobre el nivel del mar. En este caso se selecciona el área sobre la caseta de cloración, pues en esta zona la cual es factible la instalación de paneles solares, ya que no tiene sombras alrededor de ella y el acceso es relativamente fácil (figura 41).



**Figura 41.** Ubicación del pozo y área seleccionada para la instalación de sistemas fotovoltaicos en el pozo Mar Mediterráneo.

La figura 42 muestra una foto de la caseta y un detalle del perímetro de esta. Esta área permitiría la instalación de aproximadamente 1.6 kWp, generando 2,600 kWh/año.



**Figura 42.** Caseta de cloración y esquema del perímetro de esta en el pozo Mar Mediterráneo.

### Pozo Alameda de Tacubaya

Este pozo se encuentra ubicado en Tacubaya, Miguel Hidalgo, 11870 Ciudad de México, CDMX. La figura 43a muestra una imagen del pozo.



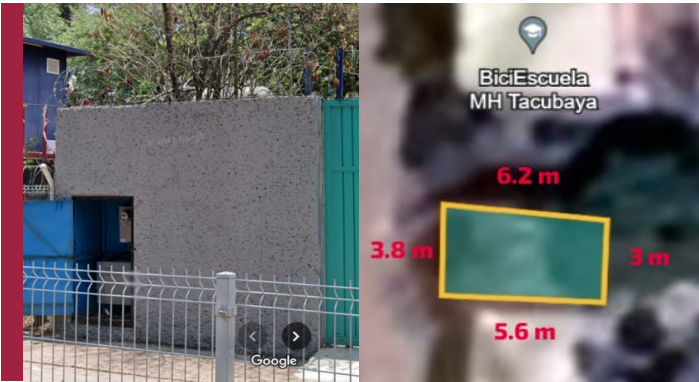
**Figura 43.** a) Imagen del pozo Alameda de Tacubaya y b) del gabinete de control.

Este es un pozo con un tren de descarga que cuenta con todos los sistemas de medición. Cuenta con el sistema de dosificación de cloro. El pozo se encuentra trabajando a una presión de 1 kg/cm<sup>2</sup> y un caudal de 51 L/s. La ficha técnica del motor estaba visible, aunque la ficha técnica de la bomba estaba cubierta de pintura. El área en donde se encuentra el arrancador es pequeña, presenta humedad en el techo y goteras además de múltiples hormigueros cerca del arrancador. Debe cuidarse el mantenimiento de las instalaciones, pues la humedad y los animales pueden generar problemas en las instalaciones. El gabinete estaba en buenas condiciones con las tres fases marcadas y con su sistema de tierras aterrizadas, como se muestra en la figura 43b. No contaba con su sistema de capacitores. El voltaje entre fases fue de 450 V y la corriente presente fue de 142 A. En el cuarto del gabinete de este pozo se sentía una temperatura considerablemente elevada, sobre todo al acercarse al gabinete, lo cual podría ser resultado de pérdidas por calentamiento en el sistema.

Los reportes de las mediciones eléctricas muestran una frecuencia de 60 Hz, voltajes entre fases de 458 V y corrientes de 140 A. En este pozo el factor de potencia fue de 0.90, el más alto de los reportados, y el desbalance es muy pequeño.

Este pozo tiene un sistema de telemetría en funcionamiento. Cuenta con la antena e incluso hay una alarma interna, pero está desconectada. Sería importante conectar el sistema de seguridad. De la descripción de los sistemas de telemetría en los pozos se puede notar que la mayoría de estos cuentan con un sistema funcional. Aun en los pozos que no tienen funcionando el sistema de telemetría, se cuenta con los PLC y una parte del sistema. Para dejar en funcionamiento los sistemas que faltan se requiere revisar en cada caso particular y posiblemente no se requiera una gran inversión. Estos sistemas de telemetría pueden ser potenciados incluyendo otras funciones. Entre las más importantes está la seguridad. Por ejemplo, se sugiere integrar un sistema de monitoreo remoto que aproveche las alarmas existentes en dichos pozos. Esta propuesta de incorporación de alarmas a los sistemas de telemetría para su funcionamiento de manera remota se detalla en la discusión de los resultados.

Este pozo está ubicado en las coordenadas 19°24'03"N 99°11'08"W y a una altura de 2259 msnm. La figura 44 muestra una imagen y el cálculo del área de la caseta de control, que se considera que es la opción más viable para la instalación de fotovoltaicos. El caso de esta caseta es algo particular, ya que tiene potencial para una instalación fotovoltaica, lo que sucede es que ciertas condiciones como el clima pueden variar la irradiancia. Se tendría que hacer un estudio y simulación más a fondo. Esta área permitiría la instalación de aproximadamente 1.6 kWp, generando 2,600 kWh/año.



**Figura 44.** Esquema del perímetro de la caseta del gabinete de control en el pozo Alameda de Tacubaya, y una foto de esta.



## Discusión de los resultados y propuestas

### Eficiencia energética

Este es un punto fundamental para analizar en el documento. En los resultados de las mediciones eléctricas se obtuvo que hay mucha variación en los parámetros eléctricos. Mientras los pozos Periférico 1, Auxiliar Xotepingo 1C, Coyotes, Deportivo Durango, Antonio M. Anza y Directo 25 trabajan a voltajes por debajo de los 440 V (con el caso de Directo 25 operando a menos de 420 V), los otros cuatro pozos trabajan a valores por encima de los 450 V. También hay fluctuaciones en la corriente desde 84 A hasta más de 150 A. Los valores de voltaje vienen dados por la tensión de subministro, y esto es algo que en la mayoría de los transformadores se puede ajustar. Se recomienda realizar una revisión específica de los transformadores. Para una misma potencia es preferible trabajar mayores voltajes y menores corrientes, pues es la corriente la que genera mayormente los sobrecalentamientos. Es importante revisar los calibres de los cables, sobre todo en los pozos que trabajan a corrientes muy altas, pues hay problemas de sobrecalentamiento en varios de los pozos. Esto disminuye la vida útil de las instalaciones y puede ser causa de accidentes.

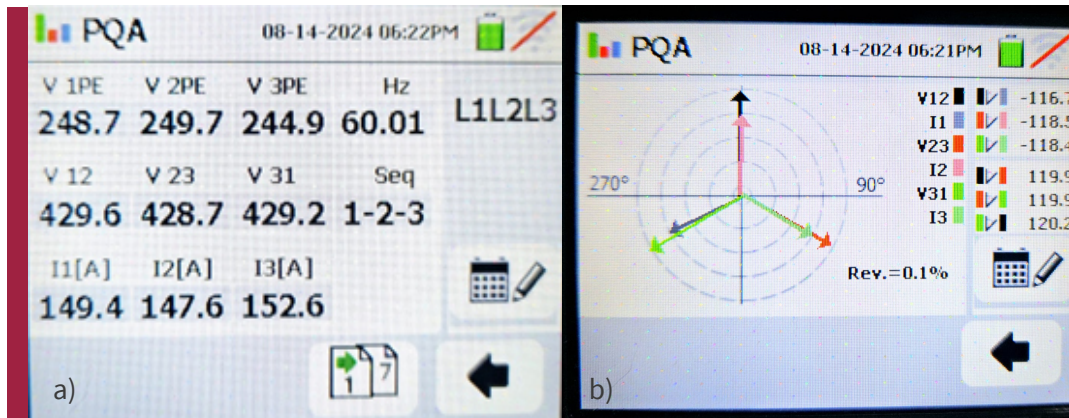
Todos los pozos tienen factores de potencia entre 0.84 y 0.89, excepto el de Casa Amarilla que tiene un factor de potencia de 0.7 y el de Directo 25, que lo tiene de 0.99. Esto es una indicación de que la calidad de una instalación no puede verse por un único aspecto, como por ejemplo el factor de potencia, pues la instalación de Directo 25 tiene múltiples problemas y debe ser revisada a la brevedad. Este punto se retomará más adelante con el análisis de fases y armónicos. Por otra parte, la disminución del factor de potencia en el pozo de Casa Amarilla puede estar relacionada también a la calidad de la instalación eléctrica, como se comentó en la discusión de los resultados por pozos. Hay pozos como el de Coyotes, donde la medición se hizo en el transformador, en que la potencia reactiva es mayor a la activa. Los desbalances en la

mayoría de los pozos son pequeños, con la excepción de Directo 25.

Se requiere buscar herramientas para mejorar la seguridad de los pozos. Para evitar los vandalismos se han hecho blindajes, que a veces implican soldar las jaulas donde están las conexiones eléctricas. Esto limita, y a veces imposibilita, el acceso a los equipos de medición afecta la posibilidad de realizar mantenimientos y revisiones de los equipos. Todos los sistemas se deben conectar a tierra, se deben hacer las conexiones correctamente y se recomienda el uso del neutro en las conexiones trifásicas. Aunque parezca que así está funcionando bien, estos aspectos afectan tanto la calidad de la energía (y por tanto los gastos en consumo), el tiempo de vida útil de las instalaciones e incluso la seguridad de estas.

Otro aspecto importante para mencionar es la necesidad de cada cierto tiempo hacer mediciones con equipos de calidad de la energía, que además de los parámetros antes mencionados permiten medir armónicos, fases y otros parámetros. Esto puede ayudar a comprender comportamientos no deseados. Una situación crítica con el uso de estos equipos es nuevamente la seguridad. Una medición de calidad de la energía se recomienda que se haga midiendo períodos de 10 minutos a lo largo de todo el día y preferiblemente por toda una semana. Al terminar la medición los datos obtenidos se descargan y se hacen los análisis evaluando variaciones a lo largo del día y de la semana. Esto implica conectar el equipo y dejarlo en la instalación toda la semana midiendo. Estos equipos son costosos y no pueden dejarse si no se garantiza la seguridad adecuada. A continuación, se muestra como este tipo de mediciones ayuda a comprender situaciones en las instalaciones, donde nos centramos, entre otros, en el pozo Directo 25 que parece tener un factor de potencia de 0.99, pero al mismo tiempo un desbalance del 100%.

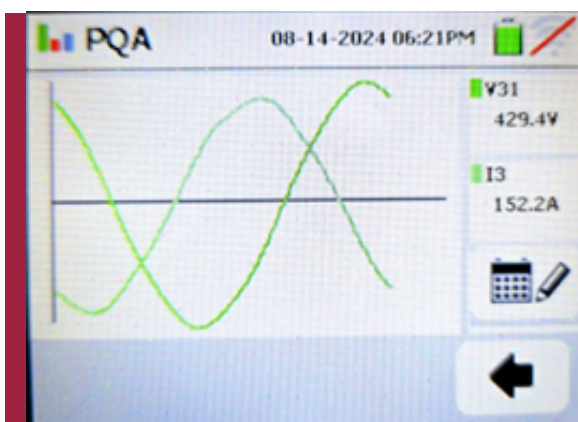
La figura 45 muestra las mediciones eléctricas en el pozo Periférico 1. Se observa que las corrientes de cada una de las fases son altas, lo que es la causa de que en este pozo las conexiones físicas están en extremo calientes.



**Figura 45.** a) Mediciones eléctricas y b) diagrama de fases en el pozo Periférico 1.

La figura 45b muestra el diagrama vectorial en este mismo pozo. Se puede notar que las fases están separadas por  $120^\circ$ , que es lo esperado en sistemas trifásicos, y no hay presencia de desfase. Sin embargo, si existe una rotación en todas las fases. Notar que la magnitud (tamaño de las flechas) de la corriente y el voltaje es aproximadamente similar, lo que indica que no hay un desbalance significativo entre las fases.

La figura 46 muestra la forma de la onda, indicando un ciclo de voltaje entre la fase 3 y 1 y uno de corriente en la fase 3. Se toma en este ejemplo la corriente de la fase 3, ya que es la mayor con respecto a las otras fases. Se puede observar que hay una deformación en la onda de corriente en la zona de la cresta. Esta deformación en caso de ser mayor puede afectar el valor eficaz y el factor de cresta.



**Figura 46.** Forma de la onda en mediciones en el pozo Periférico 1.

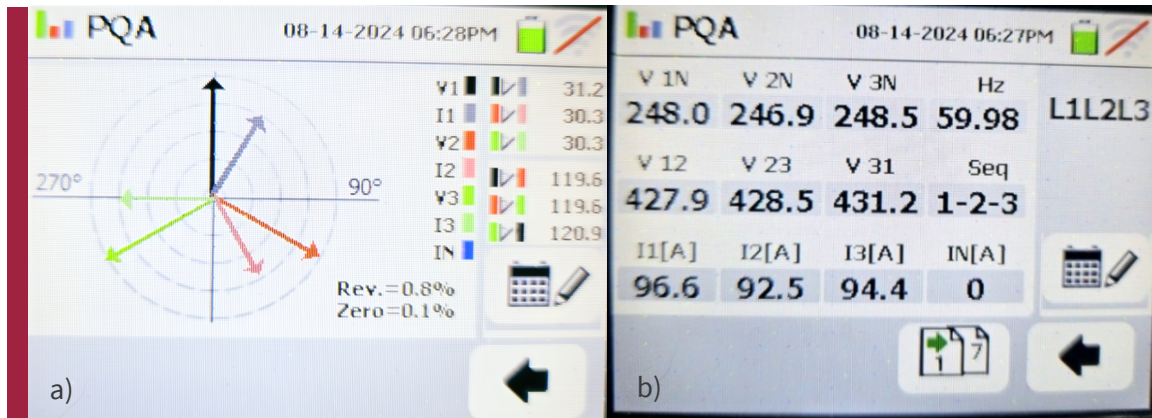
La figura 47 muestra la presencia de armónicos de orden 5 en voltaje y de orden 3 y 5 en corriente en el pozo Periférico 1. La magnitud de estos armónicos es menor a los límites máximos permitidos (5 % para el 3, 6% para el 5 en sistemas de baja tensión). Los armónicos de orden 5 son bastante comunes en sistemas industriales. Pero los armónicos de orden 3, generan una corriente en el neutro. Al tener una instalación sin neutro, esta corriente adicional se regresa por alguna de las fases, provocando un sobrecalentamiento de los cables. Esta puede ser otra a de las causas de sobrecalentamiento que se observaron en el pozo Periférico 1, la cual existiría aun si el calibre de los cables es el adecuado.



**Figura 47.** Análisis de armónicos en el pozo Periférico 1.

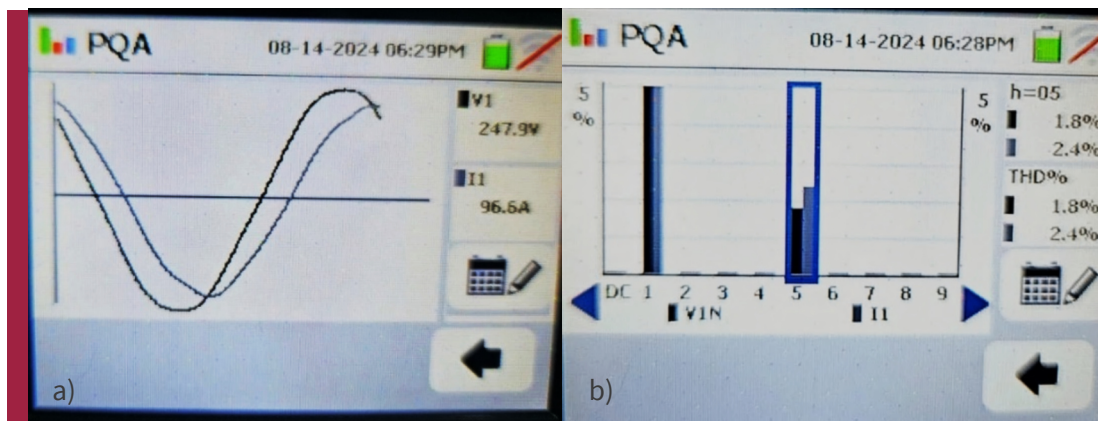
Todas las mediciones anteriores se hicieron en el gabinete de control. A continuación, se pone el ejemplo de mediciones realizadas en el pozo Coyotes, donde las mediciones se hicieron directamente del transformador al no tener acceso a los gabinetes de control. La figura 48a muestra las mediciones eléctricas realizadas en el pozo Coyotes. Un aspecto que resalta es que el voltaje entre las fases está por debajo de lo que debería, de 440 V. La figura 48b muestra el diagrama de fases para el pozo Coyotes. En el diagrama vectorial se puede notar un desfase de 30° entre la corriente y el voltaje, pero las amplitudes están balanceadas.





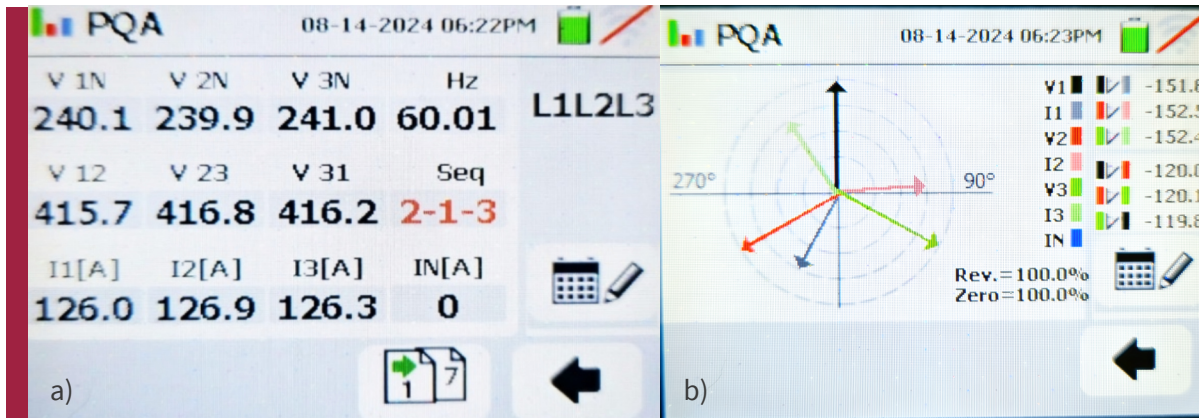
**Figura 48.** a) Mediciones eléctricas y b) diagrama de fases en el pozo Coyotes.

La figura 49a muestra la forma de la onda en la fase 1 en este pozo. Se observa un desfase entre la onda de voltaje contra la de corriente, que es congruente con lo observado en el diagrama de fases, además de que la onda de corriente tiene ligeras alteraciones en las crestas y valles que la conforman, las que pueden deberse a la presencia de armónicos. La figura 49b muestra el análisis de armónicos en este pozo, donde solo se detectan armónicos de orden 5, los que están en un porciento menor al límite máximo permitido. Estos armónicos pueden ser los responsables de la deformación de la señal en la figura 49a.



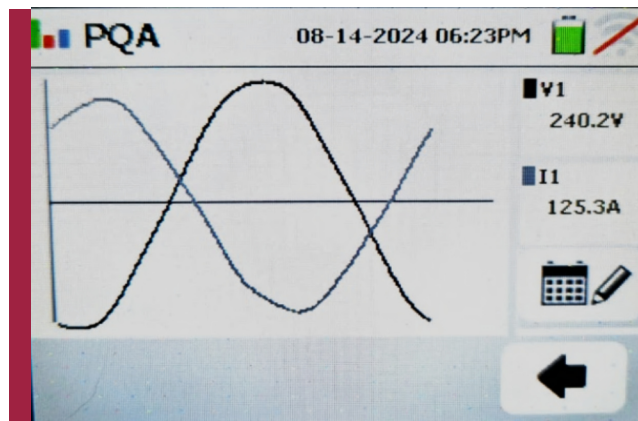
**Figura 49.** a) Forma de la onda y b) armónicos en la medición en pozo Coyotes.

Finalmente se muestran mediciones realizadas en el pozo Directo 25, en el cual se logró medir tanto en el transformador como en el gabinete. La figura 50a muestra los resultados de las mediciones en el transformador.



**Figura 50.** a) Mediciones eléctricas y b) diagrama de fases en el transformador en el pozo Directo 25.

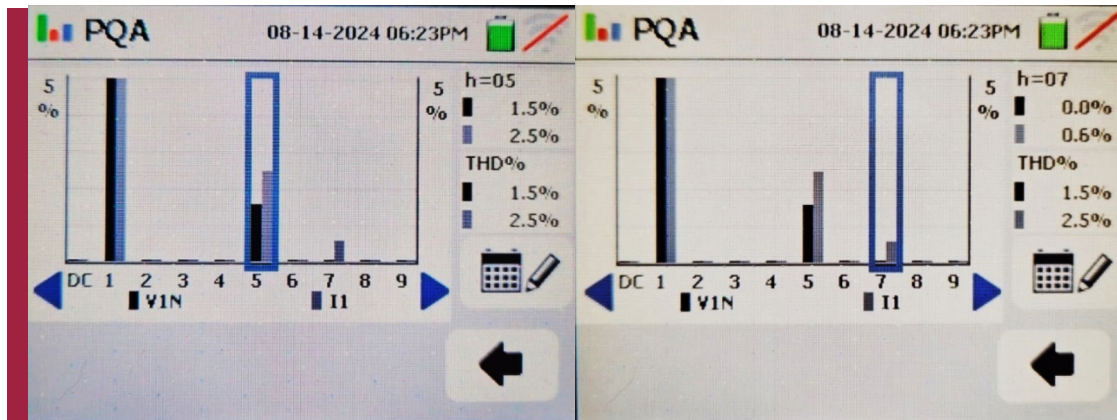
El primer aspecto que se señala es que no están bien conectadas las fases en el transformador, para esto se requiere avisar a CFE para modificar la conexión. También hay una variación importante en las magnitudes del voltaje en cada una de las fases. La figura 8b muestra el diagrama vectorial de esta medición. Este diagrama es muy inusual, pues se puede observar que no se cumplen los ángulos de  $120^\circ$  entre las fases, aunque si hay un balance entre las amplitudes de los voltajes. Esto seguramente esté asociado a alteraciones en el transformador. La figura 51 muestra la forma de la curva.



**Figura 51.** Forma de la señal en el transformador del pozo Directo 25.

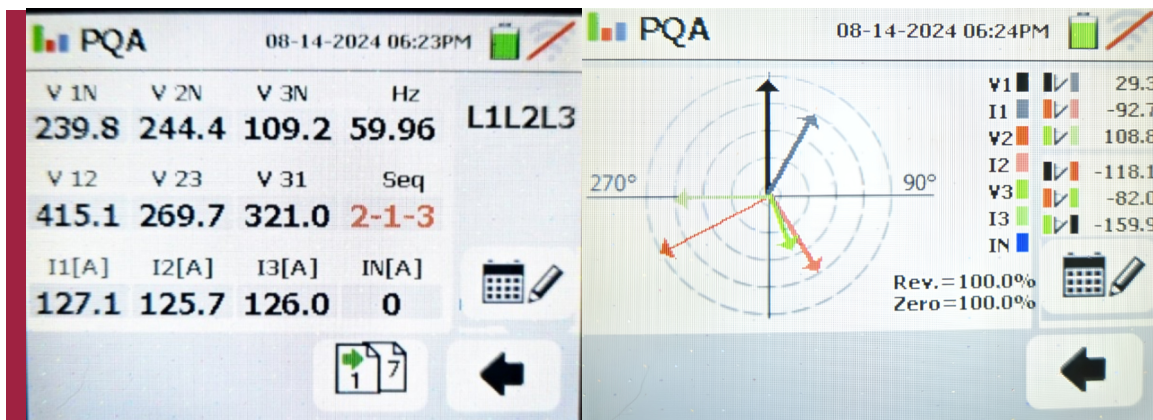
La señal se deforma como en los casos anteriores, lo que sugiere efectos de armónicos. En los histogramas de la figura 52 se tiene que hay presencia de armónicos de orden 5 para el voltaje, y de orden 5 y 7 para la corriente. Ambos armónicos están en los límites permitidos (6% para el 5, 5%

para el 7), pero son un poco mayores que en los casos reportados anteriormente.



**Figura 52.** Análisis de armónicos en el transformador del pozo Directo 25.

La figura 53a muestra los resultados de las mediciones eléctricas en el gabinete de control en el pozo Directo 25. El equipo detecta que las fases 1 y 2 están invertidas directamente de la instalación de CFE. En el arrancador se ve una disminución considerable de voltaje, por debajo de lo ya medido en el transformador, además de que la corriente también es alta. Se puede observar un desbalance muy grande en la amplitud de los voltajes entre las fases, que van desde 415 V entre las fases 1 y 2 hasta 270 V entre las fases 2 y 3.



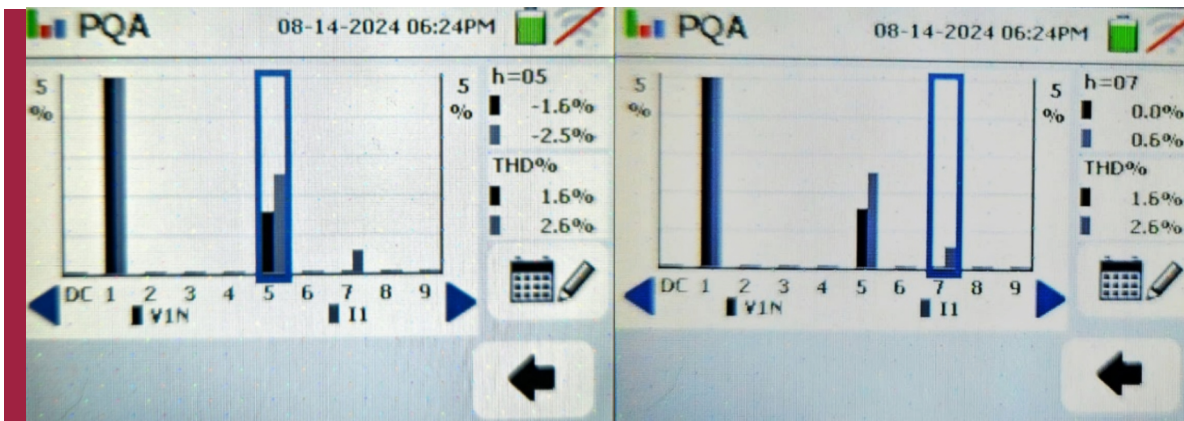
**Figura 53.** Mediciones en el gabinete de control en el pozo Directo 25.

La figura 53b muestra el diagrama vectorial para esta medición, donde se ve claramente un desfase grave en la fase 3, representada por el vector verde. Además de que el resto de fases también tienen sus propios desfases. Además,



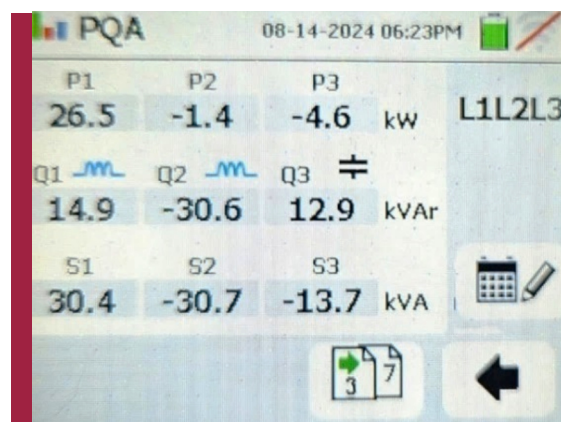
hay un desbalance muy grande entre las amplitudes, tanto de las corrientes como de los voltajes.

La figura 54 muestra los resultados del análisis de armónicos en este pozo. Se observa en el histograma la presencia de armónicos de orden 5 y 7. La magnitud de estos armónicos y del factor de distorsión armónica es ligeramente mayor.



**Figura 54.** Análisis de armónicos en el gabinete de control en el pozo Directo 25.

La figura 55 muestra los valores de potencia para cada una de las fases. Las lecturas de las potencias para la fase 2 y 3 son muy bajas, indicando problemas en la instalación. El análisis realizado sugiere que estos problemas se deben fundamentalmente a problemas en la conexión y funcionamiento del transformador, más que a la instalación del pozo. Pero una vez corregidas las instalaciones se debe medir nuevamente a ver si no hay fallos en la instalación.



**Figura 55.** Mediciones de potencia en gabinete de control en Directo 25.

De los análisis realizados se denota la importancia de hacer mediciones de la calidad de la energía en todos los pozos de SACMEX con cierta periodicidad, y una vez que se detecten anomalías, procesar la información para encontrar la causa de los problemas. Este análisis se hizo de forma general, procesando todas las variables y midiendo prácticamente todo lo que permite medir el equipo. Cuando se detectan anomalías o hay fallos en los sistemas, se puede enfocar el trabajo a un tipo específico de mediciones para poder tener un mejor procesamiento de la información. La mejora de la calidad de la energía disminuye el consumo eléctrico, disminuye por tanto las emisiones contaminantes producto de la generación de energía, aumenta el tiempo de vida útil de las instalaciones y disminuye el riesgo de accidentes.

## Sistemas distribuidos

Un aspecto que puede influir considerablemente tanto en la disminución del costo asociado al bombeo como en la disminución de gases de efecto invernadero es la instalación de sistemas distribuidos de energías limpias. Estos sistemas se pueden interconectar a red, de forma que la electricidad que generan minimiza los gastos por consumo eléctrico. Hay muchas formas de generación distribuida, pero para la implementación en los pozos solo tiene sentido evaluar la energía solar, y en particular en la energía solar fotovoltaica. La instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados a red requiere contar con un área disponible, la cual no tenga sombreado y un punto de interconexión a red cercano para abaratar costos. La demanda de electricidad de los pozos tiende a ser alta y considerando el área disponible no se ve viable que se pueda instalar una capacidad equivalente a la demanda total del pozo, pero se considera que esta no debe ser la visión. Si se considera la cantidad de pozos, instalando una cantidad que presente un ahorro mensual de algunos cientos de pesos en al menos en la mitad de los pozos, eso podría representar un ahorro anual de varios millones de pesos a SACMEX en materia de consumo eléctrico. El otro aspecto que se debe considerar es el de las emisiones. El Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional publicado el 29 de febrero del 2024 es de 0.438 tCO<sub>2</sub>e/MWh, lo que

representa lo que se dejaría de emitir por cada MWh fotovoltaico generado. En este proyecto se realizó un análisis de los lugares disponibles en los pozos para la instalación de sistemas fotovoltaicos, considerando el área útil, sombreado, cercanía al punto de interconexión e incluso la seguridad en los pozos.

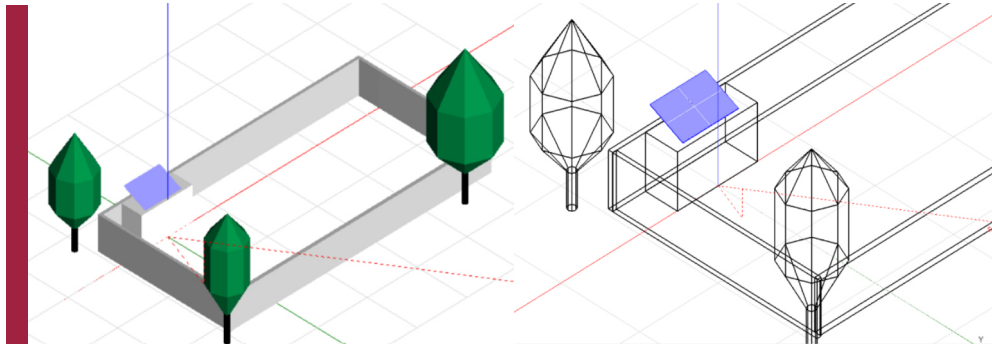
En este trabajo se realizó un análisis de los lugares disponibles en los pozos para la instalación de sistemas fotovoltaicos, considerando el área útil, sombreado, cercanía al punto de interconexión e incluso la seguridad en los pozos.

Para determinar la cantidad de energía que se puede generar de los paneles fotovoltaicos el primer paso es determinar la potencia solar incidente por unidad de superficie (irradiancia). Esta potencia varía según la localización geográfica, aunque pequeños cambios de localización no generan cambios apreciables en la irradiancia. Se realizó el análisis para varios pozos, confirmando este resultado. El valor obtenido para la radiación normal directa es de 1,411 W/m², el cual se encuentra en el rango alto, lo que indica que es muy adecuado para la instalación de paneles solares. Con estos parámetros se puede hacer una simulación que nos da un aproximado de lo que se puede generar. La simulación se basa en paneles e inversores comerciales de una marca y modelo, para ser más realista, pero es aplicable a cualquier otra marca y modelo siempre que tenga eficiencias similares. Se toman valores de las eficiencias de los paneles menores a las más altas encontradas en el mercado, considerando que los paneles de más alta eficiencia son mucho más caros y pueden salir de los presupuestos. Un resumen de los resultados se muestra en la tabla 12, tal y como la presenta la simulación.

Tabla 12. Resultados de la simulación en pozo Tacubaya.

| Parámetros de simulación  |                                           |                       |                  |                         |                   |
|---------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|-------------------|
| Proyecto                  | Pozo Mar Mediterraneo                     | Generador FV          |                  |                         |                   |
| Sitio                     | Tacubaya                                  | Módulos FV            | JKM-440N-54HL4R  | Inversor                | Galvo 2.5-1 / 220 |
| Tipo sistema              | Conectado a la red                        | Potencia nominal      | 2.64 kWp         | Inv. unidad de potencia | 2.5 kW            |
| Simulación                | 01/01 al 31/12<br>(Datos meteo genéricos) | Voltaje MPP           | 33.3 V           | Núm. de inv.            | 1                 |
|                           |                                           | Corriente MPP         | 13.3 A           |                         |                   |
| Resultados principales    |                                           |                       |                  |                         |                   |
| Producción del sistema    | 4073 kWh/año                              | Prod. normalizada     | 4.23 kWh/kWp/día |                         |                   |
| Prod. específica          | 1543 kWh/kWp/año                          | Pérdidas del conjunto | 0.66 kWh/kWp/día |                         |                   |
| Proporción de rendimiento | 0.803                                     | Pérdidas del sistema. | 0.37 kWh/kWp/día |                         |                   |

La figura 56 muestra una simulación que se realizó basada en la caseta del pozo Casa Amarilla, la cual muestra la ubicación de los paneles solares propuestos.



**Figura 56.** Simulación de la instalación de paneles solares en el pozo Casa Amarilla.

Se realizaron cálculos básicos preliminares que nos dan una indicación del mínimo de la capacidad que se podría instalar en cada pozo, considerando solamente las casetas de control. Se debe aclarar que los espacios no estarán completamente cubiertos por los paneles, pues se requiere tomar en cuenta el sombreado. La suma de esta capacidad instalada de 17.4 kWp, lo que equivale a 28,301 kWh/año. No es posible instalar toda esta capacidad por problemas prácticos (seguridad en los pozos, etc.), pero si se pudiera instalar al menos la mitad, esto implicaría una reducción de gases de efecto invernadero equivalentes de 6.2 tCO<sub>2</sub>e. Este cálculo solo considera los diez pozos en estudio. El valor puede ser extrapolado a todos los pozos de SACMEX, aumentando considerablemente su magnitud. El Anexo 2 presenta un análisis más completo de factibilidad, realizado para el pozo Directo 25.

### 1. Pertinencia de la instalación fotovoltaica

La instalación de paneles fotovoltaicos en la zona es pertinente debido a varios factores que justifican su viabilidad y beneficios. Estos factores incluyen aspectos económicos, ambientales y tecnológicos, como los que se describen a continuación:

### 2. Condiciones Locales Favorables

La zona cuenta con un alto nivel de irradiación solar, esto hace que la producción de energía solar sea eficiente y



rentable. La disponibilidad de sol durante la mayor parte del año asegura una alta generación de electricidad.

En zonas con espacios abiertos, la instalación de paneles solares aprovecha áreas que de otra manera estarían sin uso.

### **3. Costos operativos reducidos**

En muchas regiones, los pozos de agua utilizan generadores diésel o de gasolina como respaldo cuando la red eléctrica falla. La instalación de paneles solares reduce la necesidad de usar generadores, disminuyendo significativamente los costos operativos relacionados con el combustible y el mantenimiento de los equipos de respaldo.

Aunque la inversión inicial en un sistema solar puede ser significativa, los costos operativos a largo plazo son mucho menores que depender exclusivamente de la red eléctrica o generadores a combustible, lo que hace que el sistema sea más sostenible económicamente.

### **4. Sostenibilidad y medio ambiente**

Al usar energía solar para operar las bombas, se reduce la dependencia de fuentes de energía fósiles, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

### **5. Escalabilidad y flexibilidad**

Los sistemas fotovoltaicos son modulares y escalables, lo que permite dimensionarlos de acuerdo con la capacidad y las necesidades específicas del pozo de agua. Esto permite un diseño personalizado, optimizando tanto la inversión como el rendimiento.

## **Telemetría en pozos de agua potable**

De la descripción de los sistemas de telemetría realizada en la descripción de los pozos se pudo notar que la mayoría de estos cuentan con un sistema funcional. La elección del PLC para el procesamiento y la transmisión de la información no es la más económica ni la más eficiente, pero sí es muy robusta. Se recomienda mantener este tipo de sistemas. En el caso de los pozos que no tienen funcionando el sistema de telemetría, pero que, si cuentan con los PLC y



una parte del sistema, se sugiere reactivar los sistemas con la misma configuración y no se considera necesario hacer un cambio en estos momentos. En cualquier caso, en este documento se presentan, discuten y cotizan algunas actualizaciones posibles, tanto para los sistemas físicos de telemetría como para los sistemas de transmisión de la información. La ventaja de los sistemas de telemetría propuestos es básicamente que son más compactos y económicos, lo que los hace más inmune al vandalismo. Los diferentes sistemas de transmisión propuestos varían en la capacidad, alcance y costos. Estos pueden ser tomados en cuenta si en algún momento se quieren actualizar o se presentan desventajas en los sistemas contratados.

Una propuesta que si se considera que debe ser tomada en cuenta es potenciar los sistemas de telemetría instalados incluyendo otras funciones. Entre las más importantes estaría la seguridad. Por ejemplo, se sugiere integrar un sistema de monitoreo remoto que aproveche las alarmas existentes en dichos pozos e introducir la automatización de los accesos a los pozos y los mantenimientos. A continuación, se detalla una propuesta de incorporación de alarmas de manera remota al sistema de telemetría.

### **Propuesta para implementar la alarma al sistema de panel de control**

Las alarmas actualmente instaladas no han sido tan efectivas, porque, aunque suenen y eso pueda alejar a los vándalos, al no haber alguien cerca que pueda responder al aviso se pierde la confianza en su utilidad. Esto incluso es conocido muchas veces por los delincuentes. Si estas alarmas se incorporan al sistema de telemetría, al sonar la alarma se activa un aviso en los campamentos, e incluso se puede activar un aviso directo a la policía, disminuyendo los tiempos de reacción al delito.

Para implementar una alarma en el sistema de panel de control de un pozo, se propone integrar la alarma existente al PLC mediante una salida digital. La alarma del pozo, que actualmente suena de manera local, se conectará al PLC a través de esta salida, lo que permitirá que el PLC controle su activación.



El proceso comienza con la conexión de la alarma al PLC. La salida digital del PLC será configurada para activarse cuando se cumplan ciertas condiciones predefinidas, como la detección de un flujo anormal o el disparo de cualquier sensor crítico en el pozo. Una vez que estas condiciones se cumplen, la salida digital envía una señal que activa la sirena, alertando así a los operarios en las inmediaciones. Simultáneamente, el PLC está conectado a una antena que ya está instalada en el sistema. Esta antena es utilizada para enviar datos y alertas en tiempo real a una plataforma de monitoreo remoto. Cuando la alarma se activa, el PLC no solo enciende la sirena localmente, sino que también envía una notificación a través de la antena. Esta notificación incluye información clave como la causa de la alarma, la ubicación del pozo y los datos actuales del caudal, voltaje e intensidad. Estos datos se transmiten a una base de datos central o a una plataforma en la nube, donde pueden ser monitoreados por los operadores desde cualquier lugar con acceso a la red. La integración de la alarma al sistema de telemetría, controlado por el PLC, permite no solo una respuesta inmediata local, sino también una supervisión remota eficiente, asegurando que las autoridades o el personal relevante sean notificados de manera oportuna para tomar las acciones necesarias. En cualquier caso, se sugiere la implementación de leyes que aumenten la penas a delitos relacionados con el sistema de agua potable, por el costo e impacto que tienen estos sistemas en la población.

### **Propuesta para Automatización y Control de Mantenimientos**

En el documento también se ha una propuesta para la automatización del acceso a las instalaciones, los mantenimientos, y el registro de cualquier reemplazo de equipos. Para esto se pueden utilizar softwares, los cuales ya existen y son de fácil manipulación (Smart Access), en los cuales el responsable puede agendar el acceso a la instalación, o simplemente reportarlo en caso de que sea una emergencia; incluir de forma rápida y sencilla las personas que asisten con solo la selección en una base de datos precargada; e incluir la actividad que se va a realizar (las actividades más comunes a realizar pueden estar también precargadas para que el uso del software no represente una

pérdida de tiempo adicional para el usuario). Este software de automatización se puede integrar al sistema de telemetría existente, lo que permitirá tener un registro en tiempo real de las actividades realizadas y las personas participantes. Todas las acciones se pueden encriptar y proteger mediante HTTPS y 2FA, y se dará acceso a los registros detallados y actividades solo al personal que se considere conveniente. Esto permitirá a SACMEX tener un control preciso y en tiempo real de sus instalaciones, mejorando la seguridad y eficiencia operativa.

### **Análisis de los costos por litro de agua bombeada**

Este trabajo consistió en solicitar y obtener los datos de gasto de agua y consumo energético provenientes de registros históricos de las bases de datos de SACMEX. Estos datos fueron organizados y reunidos en una hoja de cálculo de Excel para facilitar su posterior análisis. El análisis estuvo restringido a los pozos en los cuales se podía contar con registros, tanto del consumo eléctrico como de la cantidad de agua bombeada. En los casos en que se detectaron faltantes de datos en los registros de gasto de agua, se aplicó la técnica de interpolación para estimar y rellenar los valores vacíos. Este proceso permitió obtener una serie de datos continua y coherente, lo que es crucial para garantizar la precisión en análisis posteriores. Este cálculo se realizó con la función de interpolación lineal de la biblioteca de pandas en Python. Las extrapolaciones se hicieron por el método lineal, el método de valores cercanos y por el método de frontera. Tras realizar las extrapolaciones, se procedió al cálculo del costo por metro cúbico de agua [pesos/m<sup>3</sup>] y al consumo de potencia por metro cúbico de agua [kW/ m<sup>3</sup>] para los pozos tratados y posteriormente se realizó un análisis de los datos en conjunto. Se obtuvo un costo promedio de \$1.<sup>11</sup> por metro cúbico de agua bombeada, con una desviación estándar de \$0.<sup>65</sup> y un porcentaje de variabilidad del 58.58%. En cuanto al consumo eléctrico, obtuvimos una potencia promedio de 0.33 kW por metro cúbico de agua bombeada, con una desviación estándar de 0.16 kW y un porcentaje de variabilidad del 49.97%.



## Conclusiones

---

Se seleccionaron diez pozos como marco muestral, todos los cuales se encuentran en operación. La selección de los pozos permite cubrir un amplio rango de características, lo que permitirá que los resultados de este proyecto puedan ser escalados a otros pozos.

Las mediciones eléctricas, juntamente con la inspección visual de la visita a los pozos, indicaron que hay mucha disparidad entre los pozos. Algunos tienen instalaciones eléctricas bien organizadas, mientras que en otros las conexiones eléctricas no están bien hechas; muchos no tienen sistema de tierra o neutro en sus confecciones; en algunas instalaciones había sobrecalentamiento de los cables y en otras incluso el transformador estaba mal conectado. Unos pozos están trabajando a voltajes por debajo de los 440 V esperados, mientras que otros trabajan a valores mayores. En uno de los pozos se detectó un desbalance de voltajes y corrientes muy grande, al parecer por malfuncionamiento del transformador. En general no se realizan mediciones de nivel dinámico o estático, lo que no permite optimizar las condiciones de funcionamiento de la bomba.

Para disminuir el consumo energético de los pozos es importante:

Revisar periódicamente las conexiones de todo el sistema eléctrico

- Tener arrancadores activos en todos los pozos en funcionamiento. El arrancador auxilia en el control de la corriente y la tensión durante el proceso de arranque de un motor.
- Revisar la instalación de bancos de capacitores, sobre todo en los sistemas con bajo factor de potencia.
- Contar con interruptores termomagnéticos de capacidad de acuerdo con el amperaje del motor en todos los pozos. Estos limitan la corriente que recibe el motor en caso de que se presente una falla como un corto circuito o una sobrecarga.
- Mejorar la seguridad de los pozos, para no tener que utilizar jaulas selladas y otras protecciones que



- dificulten la inspección, mantenimiento y reemplazo de las conexiones eléctricas.
- Limpiar las instalaciones eléctricas, con el propósito de eliminar la suciedad, polvo, insectos y cualquier objeto que afecte su desempeño óptimo.
  - Implementar un programa de Mantenimiento Predictivo que incluya el monitoreo periódico del flujo volumétrico, presión y caudal, nivel dinámico y estático, vibraciones en los pozos, conexiones e instalaciones eléctricas, temperatura en los puntos de conexión, corrección de desbalances, armónicos, optimización del factor de potencia, análisis de los voltajes, corrientes y potencias por fase, entre otros.

En lo que se refiere a la instalación de sistemas de generación distribuida para disminuir consumo eléctrico y minimizar emisiones, se propone la instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados a red como la opción más viable. En la mayoría de los pozos las casetas de control pueden ser óptimas para la instalación de fotovoltaicos por ser zonas del pozo que se utilizan habitualmente, ofrecen un resguardo a los inversores y en general se encuentran cerca de los puntos de conexión. También se podrían utilizar los techos de las casetas de cloración. Hay muchas áreas que se podían incorporar, las cuales además podría ser un apoyo al personal que trabaja, como en el pozo Directo 25, que puede instalar los paneles en el pasillo que da acceso a la caseta de control de la telemetría (los paneles instalados a cierta altura proporcionan sombra, resguardo a la lluvia, a la vez que mejoran la imagen de los pozos). Para la selección de otras áreas se requiere comunicación con el personal que trabaja en los campamentos, para que la instalación no interrumpa ninguna de las áreas que se requieren para el mantenimiento de los pozos. Instalando solamente paneles solares en una de las casetas, en 250 pozos de SACMEX (que son menos de la mitad de los pozos activos) podríamos dejar de emitir 6.2 tCO<sub>2</sub>e a la atmósfera.

Instalando solamente la mitad de la capacidad de paneles solares en una de las casetas, en los 10 pozos de SACMEX estudiados podríamos dejar de emitir 6.2 tCO<sub>2</sub>e a la atmósfera, y que, al escalar esta reducción en todos los pozos de SACMEX, se exhibe la enorme viabilidad de la

implementación de los sistemas distribuidos, además, del impacto dentro de los 8 ejes estratégicos de interés para este estudio.

Es imprescindible activar todos los sistemas de telemetría que no se encuentran en funcionamiento. Se sugiere revisar cada sistema en lo particular y si los reemplazos necesarios son mínimos, mantener activos los sistemas vigentes. En casos de que no haya sistema de telemetría instalado o que haya sido vandalizado totalmente, se sugiere evaluar alguna de las propuestas que se hacen en este proyecto, pues pueden resultar más económicas, compactas y menos sensibles al vandalismo. Del mismo modo, se pueden evaluar los sistemas de transmisión actuales, y si alguno tiene problemas con la conexión, se pueden considerar las propuestas que se hacen en el apartado de telemetría en este documento. Se considera altamente viable e importante incorporar a la telemetría los sistemas de seguridad de los pozos y hacer una automatización y control de las actividades de mantenimiento en los pozos.

A través de la telemetría se puede también tener una base de datos completa de los flujos bombeados y costos asociados, que en tiempo real permita evaluar el costo por litro bombeado y de esta forma identificar de forma sencilla los pozos que funcionan menos eficientemente. En este proyecto se obtuvo una potencia promedio de 0.33 kW por metro cúbico de agua bombeada, lo que comparado con estudios previos que analizaban el costo integral indica que más de la mitad del costo del bombeo se va en electricidad. Por eso es tan importante la realización de estudios de eficiencia energética en pozos.

## Propuestas de líneas de acción

---

Se sugiere dar continuidad a los estudios de calidad de la energía dando continuidad a las mediciones de calidad de la energía, haciendo mediciones en períodos más largos ajustándose a las normas establecidas para este tipo de mediciones.

Implementar sistemas fotovoltaicos en los pozos que lo permitan a modo piloto para evaluar experimentalmente el impacto de estos sistemas en la reducción de los costos, la mejora de la eficiencia energética y la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Implementar telemetría en los pozos que aún no cuenten con ella.

Incorporar la seguridad y el mantenimiento de los pozos a los sistemas de telemetría utilizando la infraestructura que ya se tiene.



## Referencias

- BID. 2012. Modelo de Marco Institucional para la Gestión de los Recursos Hídricos en el Valle de México. [www.agua.unam.mx/sacmex/assets/docs/IDBDOCS\\_GRH\\_ValleMexico.pdf](http://www.agua.unam.mx/sacmex/assets/docs/IDBDOCS_GRH_ValleMexico.pdf).
- CMM. 2011. Evaluación energética de los actuales sistemas de aguas urbanas y propuestas de manejo de los recursos hídricos en la Ciudad de México. Comisión Nacional de Vivienda. [centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/12-Evaluaci%C3%B3nEnergeticaAguasUrbanasDF\\_fin.pdf](http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/12-Evaluaci%C3%B3nEnergeticaAguasUrbanasDF_fin.pdf).
- CONAGUA. 2012. Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable. Edición 2009 Autor: Comisión Nacional del Agua. Editor: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. ISBN 978-607-7908-68-5.
- CONAGUA. 2019. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Integración de un Organismo Operador. ISBN: 978-607-626-028-9. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua y Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. [agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-Agua-Potable-Alcantarillado-y-Saneamiento-Integracion-de-un-organismo-operador.pdf](http://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-Agua-Potable-Alcantarillado-y-Saneamiento-Integracion-de-un-organismo-operador.pdf).
- CONAGUA. 2024. Programa Nacional Hídrico 2020-2024. [www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-Programa-Nacional-Hidrico-2019-2024-190499#:~:text=El%20Programa%20Nacional%20H%C3%ADrico%202020-2024%2C%20programa%20especial%20derivado,5%20objetivos%2C%2020%20estrategias%20y%2087%20acciones%20puntuales](http://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-Programa-Nacional-Hidrico-2019-2024-190499#:~:text=El%20Programa%20Nacional%20H%C3%ADrico%202020-2024%2C%20programa%20especial%20derivado,5%20objetivos%2C%2020%20estrategias%20y%2087%20acciones%20puntuales).
- CONUEE. 2018. Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de México 2018. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas LC/TS.2018/41 LC/MEX/TS.2018/8. [www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331760/S1800496\\_es.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331760/S1800496_es.pdf).
- CONUEE. 2024. Consumo energético del suministro de agua potable -Sistemas de agua potable- Bombeo de agua potable municipal Estados y municipios. URL: [www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/consumo-](http://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/consumo-)

energetico-del-suministro-de-agua-potable-sistemas-de-agua-potable-bombeo-de-agua-potable-municipal-estados-y-municipios?state=published.

Gobierno de la Ciudad de México. 2016. Programa de Sustentabilidad y Gestión de los servicios Hídrico 2013-2018. Gaceta Oficial de la Ciudad de México. No . 118.

INEGI. 2017. Fuentes de abastecimiento y volumen promedio diario de extracción de agua por demarcación territorial según principales tipos de fuente. [www.inegi.org.mx/app/cuadroentidad/CDMX/2018/04/4\\_18](http://www.inegi.org.mx/app/cuadroentidad/CDMX/2018/04/4_18)

Missteart B., Banks D., Clark L., 2017, Water Wells and Boreholes, John Wiley and Sons. 2nd Edition. John Wiley & Sons Inc.: Hoboken, NJ. ISBN 9781118951705. [eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118951700.html](http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118951700.html).

Macías-García C., Mazari Hiriart M., Zarco Arista A. E., Tapia Palacios M. A., Sotomayor Bonilla J., Solano Ortiz R., Hernández Bautista B., Hijort Colunga E. R., Espinosa García A. C., 2018, Estudio sobre el estado actual de mantos acuíferos, la explotación de pozos, el abasto real y la demanda actual y potencias del líquido en la Ciudad de México. UNAM.

Olivera-Villaroel, M. S. 2016. El valor del agua de los muebles sanitarios en la Ciudad de México. En: F. Rodríguez-Manzo, G. Sánchez-Ruiz and E. Garay-Vargas, coordinadores. La Ciudad de México. Visiones críticas desde la Arquitectura, el Urbanismo y el Diseño, 1a ed. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco, pp.157-197.

Plan Nacional de Desarrollo 2020-2040. [www.seduvi.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/62f/3f9/0b4/62f3f90b4060c239847409.pdf](http://www.seduvi.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/62f/3f9/0b4/62f3f90b4060c239847409.pdf)

Peña-Díaz, S. 2019. Condiciones hídricas en la cuenca del Valle de México. Tecnología y Ciencias del Agua, 10(2), 77-91. [doi.org/10.24850/j-tyca-2019-02-04](https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-02-04).

Ramírez, S. 2024. Mapa del Sistema Cutzamala: ¿Dónde está y qué nivel de agua tiene hasta hoy?. Expansión política. [politica.expansion.mx/cdmx/2024/02/14/mapa-sistema-cutzamala-nivel-de-agua-hoy](http://politica.expansion.mx/cdmx/2024/02/14/mapa-sistema-cutzamala-nivel-de-agua-hoy).

SACMEX. 2024. Acerca del SACMEX. [www.sacmex.cdmx.gob.mx/organo-descentralizado/acerca](http://www.sacmex.cdmx.gob.mx/organo-descentralizado/acerca)



Sacmex Gobierno de la Ciudad de México. Sistemas de Aguas de la Ciudad de México.

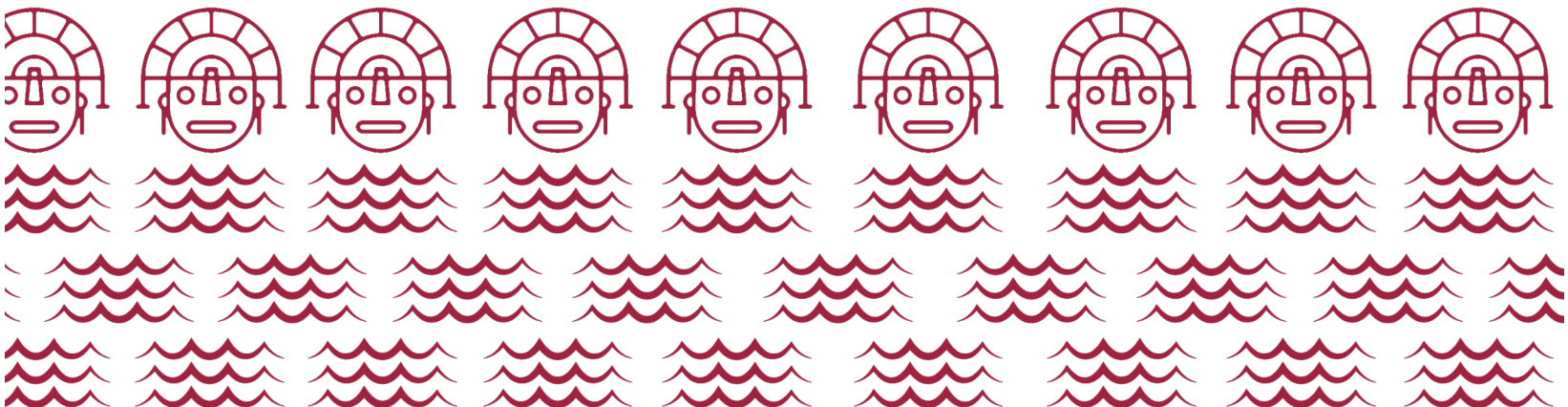
Toche, N. 2018. ¿Sabe cuánto cuesta realmente el agua?. El economista. [www.Eleconomista.com.mx/arteseideas/Sabe-cuanto-cuesta-realmente-el-agua-20181025-0176.html](http://www.Eleconomista.com.mx/arteseideas/Sabe-cuanto-cuesta-realmente-el-agua-20181025-0176.html)

Water.org. 2024. The water crisis. [water.org/our-impact/water-crisis/](http://water.org/our-impact/water-crisis/) ©2024 Water.org EIN: 58-2060131.





# Anexo 1





## Pozo Alameda Tacubaya

[illegible]

## Pozo Casa Amarilla



|                             |                     |                                   |                    |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|
| <b>AUDITORIA ENERGÉTICA</b> |                     | <b>Fecha:</b> 2 de agosto de 2024 |                    |
| <b>Responsable:</b>         | Campamento Tacubaya | <b>Sistema Operador:</b>          | SACMEX             |
|                             |                     | <b>Nombre del sitio:</b>          | Pozo Casa Amarilla |

| DATOS GENERALES DEL SISTEMA           |                   |                                                     |       |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------|-------|
| <b>SUMINISTRO ELÉCTRICO:</b>          |                   | <b>SISTEMA DE TIERRAS</b>                           |       |
| No. de servicio:                      | 97500010177       | ¿Tiene sistema de tierras?                          | Si No |
| Nombre usuario:                       | L DF SIST DE AGUJ | ¿Está aterrizado el arrancador?                     | x     |
| Tarifa actual:                        | \$133,911.88      | ¿Está aterrizado el transformador?                  | x     |
|                                       |                   | ¿Está aterrizado el motor?                          | x     |
|                                       |                   | Long del cable desde arrancador hasta motor (m)     |       |
|                                       |                   | Calibre del cable                                   |       |
| <b>TRANSFORMADOR:</b>                 |                   | <b>Observaciones:</b>                               |       |
| Marca:                                | Ilegible          | Las tierras están metidas en la estructura de metal |       |
| kVA's:                                | 150               |                                                     |       |
| <b>ARRANCADOR:</b>                    |                   |                                                     |       |
| Tipo:                                 | Eaton             |                                                     |       |
| Capacidad:                            | 100 HP            |                                                     |       |
| <b>CAPACITORES:</b> No hay instalados |                   |                                                     |       |
| Capacidad:                            | kVar              |                                                     |       |

| DATOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO * |                                 |                              |  |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--|
| <b>MARCA:</b> Bamsa                  |                                 | <b>Tensión:</b> 440 V        |  |
| <b>Capacidad:</b> 75 HP              | <b>Corriente:</b> Sin datos     | <b>Tipo:</b> Sin datos       |  |
| <b>Velocidad:</b> 3500 rpm           | <b>Efficiencia:</b> Sin datos % | <b># de rebob:</b> Sin datos |  |
| <b>Observaciones:</b>                |                                 | <b>Hrs. de op. mes:</b> 730  |  |

| DATOS DE PLACA DE LA BOMBA * |       | IMPULSOR: |
|------------------------------|-------|-----------|
| <b>CUERPO:</b>               |       |           |
| Marca:                       | Bamsa | Tipo:     |
| Díámetro:                    | 6"    | Material: |
|                              |       |           |
| <b>Modelo:</b> Sin datos     |       |           |
| <b>Carga:</b> 100 m.c.a.     |       |           |
| <b>Antigüedad:</b> 214/2018  |       |           |
| <b>Observaciones:</b>        |       |           |

|                             |     |                            |     |                    |      |                            |      |                             |    |
|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|--------------------|------|----------------------------|------|-----------------------------|----|
| <b>Tensión entre fases:</b> |     | <b>Corriente por fase:</b> |     | <b>Potencia:</b>   |      | <b>Factor de Potencia:</b> |      | <b>Distorsión Armónica:</b> |    |
| Vab:                        | 456 | Ia:                        | 123 | Pa:                | 82.4 | FpA:                       | 0.69 | THD-V:                      | 17 |
| Vbc:                        | 452 | Ib:                        | 126 | Pb:                | 83   | FpB:                       | 0.7  | THD-I:                      | 31 |
| Vca:                        | 453 | Ic:                        | 125 | Pc:                | 83.7 | FpC:                       | 0.7  |                             |    |
|                             |     |                            |     | <b>Pot(total):</b> |      |                            |      |                             |    |

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Observaciones:</b> |  |
|                       |  |
|                       |  |

| MEDICIONES HIDRÁULICAS *                      |                      |
|-----------------------------------------------|----------------------|
| <b>NIVELES:</b>                               |                      |
| Nivel de dinámico:                            | 87.2 m (Nov 1999) m  |
| Nivel estático:                               | 86.95 m (Ene 2000) m |
| Destino del agua :                            | Red secundaria       |
| <b>Separación del manómetro:</b> 2.3 m        |                      |
| <b>Altura manómetro de descarga:</b> 0.44 m   |                      |
| <b>Altura del tanque elevado:</b> No aplica m |                      |

El diagrama ilustra un pozo vertical con una tubería perforada que se extiende hasta una profundidad de 300 metros. En la superficie, hay una estructura de bombeo que incluye un manómetro y una válvula de descarga. Las mediciones indican un nivel dinámico a 87.2 m y un nivel estático a 86.95 m. La bomba está ubicada a 125 m de profundidad. El fluido extraído es destinado a la red secundaria.

| Tubería  | Díámetro interno (m) | Presión (kg/cm²) | Q (lps) |
|----------|----------------------|------------------|---------|
| Descarga | Sin datos            | 2.32             | 43.28   |

|                                                                                                 |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Observaciones:</b>                                                                           |  |
| El pozo fue perforado en 1999 y tiene una profundidad de 300 m, la bomba esta colocada a 125 m. |  |
|                                                                                                 |  |
|                                                                                                 |  |
|                                                                                                 |  |





## Mar Mediterráneo



|                                        |                                               |  |  |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|--|--|
| <b>AUDITORIA ENERGÉTICA</b>            |                                               |  |  |
| <b>Responsable:</b> Campeyano Tacubaya | <b>Fecha:</b> 2 de agosto de 2024             |  |  |
| <b>Sistema Operador:</b> SACMEX        | <b>Nombre de sitio:</b> Pozo Mar Mediterraneo |  |  |

| <b>DATOS GENERALES DEL SISTEMA</b>                                                                                                  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>SUMINISTRO ELÉCTRICO:</b> *<br>No. de servicio: 983861000927<br>Nombre usuario: L DF SIST DE AGUA<br>Tarifa actual: \$156,773.43 |  | <b>SISTEMA DE TIERRAS</b><br><input type="checkbox"/> Tiene sistema de tierras?<br><input type="checkbox"/> ¿Está aterrizado el arrancador?<br><input type="checkbox"/> ¿Está aterrizado el transformador?<br><input type="checkbox"/> ¿Está aterrizado el motor?<br>Long del cable desde arrancador hasta motor ( ) Calibre del cable ( ) |  |
| <b>TRANSFORMADOR:</b><br>Marca: Continental      kVA<br>KVAs: 112.5                  kVA                                            |  | <b>Observaciones:</b><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |
| <b>ARRANCADOR:</b><br>Tipo: Suave<br>Capacidad: 112.5      HP                                                                       |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
| <b>CAPACITORES:</b> No están instalados<br>Capacidad:                  kVAR                                                         |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |

| <b>DATOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO *</b> |                    |                       |  |
|---------------------------------------------|--------------------|-----------------------|--|
| <b>DATOS DE PLACA 6 NOMINALES:</b>          |                    |                       |  |
| Marca: Nema Premium                         | Tensión: 230 V     | Type: BUS             |  |
| Capacidad: 134.102 HP                       | Corriente: 228 A   | # de rebil: Sin datos |  |
| Velocidad: Sin datos rpm                    | Eficiencia: 95.4 % | Hrs. de op. mes: 730  |  |
| <b>Observaciones:</b> 40 lps                |                    |                       |  |

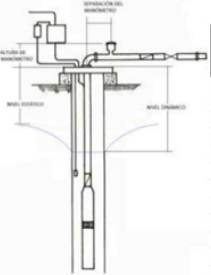
  

| <b>DATOS DE PLACA DE LA BOMBA *</b> |                       |                  |  |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------|--|
| <b>CUERPO:</b>                      |                       | <b>IMPULSOR:</b> |  |
| Marca: GM                           | Modelo: GMT341579     | Type: 8.06       |  |
| Diámetro: 6"                        | Carga: 120 m.c.a.     | Material: Bronce |  |
|                                     | Antigüedad: 1/28/2021 |                  |  |
| <b>Observaciones:</b> P 58.76 kW    |                       |                  |  |

| <b>MEDICIONES HIDRÁULICAS *</b>     |                                      |  |  |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| <b>NIVELES:</b>                     |                                      |  |  |
| Nivel de dinámico: 90 m             | Separación del manómetro: 1.56 m     |  |  |
| Nivel estático: 62.4 m (Dic 2019) m | Altura manómetro de descarga: 0.35 m |  |  |
| Destino del agua : Red secundaria   | Altura del tanque elevado: _____ m   |  |  |



El diagrama muestra una sección vertical de un pozo. En la parte superior, hay una tubería horizontal que se conecta a un manómetro. La tubería principal desciende verticalmente por el pozo. Hay una tubería lateral que sale hacia la izquierda, etiquetada como 'ALTAZAR MANÓMETRO'. En la base del pozo, hay una tubería que sale hacia la derecha, etiquetada como 'NIVEL DINAMICO'. El fondo del pozo está etiquetado como 'NIVEL ESTÁTICO'.

| Tubería  | Diámetro interno (m) | Presión (kg/cm²) | Q (lps) |
|----------|----------------------|------------------|---------|
| Descarga | Sin datos            | 0.7              | 46.2    |

**Observaciones:**

El pozo fue perforado en 1986 con una profundidad de 200 m, la bomba se encuentra colocada a 88.45 m.

## Pozo Antonio M Anza

[illegible]





## Pozo Deportivo Durango



| AUDITORIA ENERGÉTICA                    |                                                |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|
| Responsable: <u>Campeonato Coyoacan</u> | Fecha: <u>05 de agosto del 2024</u>            |
| Sistema Operador: <u>SACMEX</u>         | Nombre de sitio: <u>Pozo Deportivo Durango</u> |

| DATOS GENERALES DEL SISTEMA                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |    |   |  |   |  |   |  |   |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|--|---|--|---|--|---|--|
| <b>SUMINISTRO ELÉCTRICO:</b> *<br>No. de servicio: <u>965880903310</u><br>Nombre usuario: <u>L OF SIST DE AGU</u><br>Tarifa actual: <u>\$149,149.88</u> | <b>SISTEMA DE TIERRAS</b><br>¿Tiene sistema de tierras?<br>¿Está aterrizado el arrancador?<br>¿Está aterrizado el transformador?<br>¿Está aterrizado el motor?<br>Long del cable desde arrancador hasta motor ( )<br>Calibre del cable | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td></td></tr> </tbody> </table> | SI | NO | x |  | x |  | x |  | x |  |
| SI                                                                                                                                                      | NO                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |    |   |  |   |  |   |  |   |  |
| x                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |    |   |  |   |  |   |  |   |  |
| x                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |    |   |  |   |  |   |  |   |  |
| x                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |    |   |  |   |  |   |  |   |  |
| x                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |    |   |  |   |  |   |  |   |  |
| <b>TRANSFORMADOR:</b><br>Marca: _____<br>kVA: <u>150</u> kVA                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |    |   |  |   |  |   |  |   |  |
| <b>ARRANCADOR:</b><br>Tipo: _____<br>Capacidad: _____ HP                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |    |   |  |   |  |   |  |   |  |
| <b>CAPACIDAD:</b><br>Capacidad: <u>45</u> kVA                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |    |   |  |   |  |   |  |   |  |

| DATOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO * |                                |                             |  |
|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|
| <b>DATOS DE PLACA 6 NOMINALES:</b>   |                                |                             |  |
| Marca: <u>Medina</u>                 | Tensión: <u>Sin datos</u> V    | Tipo: <u>Sin datos</u>      |  |
| Capacidad: <u>Sin datos</u> HP       | Corriente: <u>120</u> A        | # de rebb: <u>Sin datos</u> |  |
| Velocidad: <u>3500</u> rpm           | Eficiencia: <u>Sin datos</u> % | Hrs. de op. mes <u>730</u>  |  |
| <b>Observaciones:</b> _____          |                                |                             |  |

| DATOS DE PLACA DE LA BOMBA * |                          |                         |  |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| <b>CUERPO:</b>               |                          | <b>IMPULSOR:</b>        |  |
| Marca: <u>Medina</u>         | Modelo: <u>Sin datos</u> | Tipo: <u>Mixto</u>      |  |
| Diámetro: <u>6"</u>          | Carga: <u>180</u> m.c.a. | Material: <u>Bronce</u> |  |
| Antigüedad: <u>Sin datos</u> |                          |                         |  |
| <b>Observaciones:</b> _____  |                          |                         |  |

| MEDICIONES ELÉCTRICAS *                  |           |                  |                     |  |                      |
|------------------------------------------|-----------|------------------|---------------------|--|----------------------|
| Tensión entre fases: Corriente por fase: |           | Potencia:        | Factor de Potencia: |  | Distorsión Armónica: |
| Vab: 429.2                               | Ia: 149.3 | Pa: 31.1 FPa     | 0.84                |  | THD-V: 1.4           |
| Vbc: 428.4                               | Ib: 147.3 | Pb: 31.1 FPb     | 0.85                |  | THD-I: 2.6           |
| Vca: 429                                 | Ic: 152.4 | Pc: 31.7 FPc     | 0.86                |  |                      |
|                                          |           | Pot(total): 94.1 |                     |  |                      |
| Observaciones:                           |           |                  |                     |  |                      |
|                                          |           |                  |                     |  |                      |
|                                          |           |                  |                     |  |                      |
|                                          |           |                  |                     |  |                      |

**NIVELES:**

Nivel de dinámico: 84 m

Nivel estático: 73.3 m

Destino del agua: Red secundaria

Separación del manómetro: 0.54 m

Altura manómetro de descarga: 1.4 m

Altura del tanque elevado: No aplica m



| Tubería  | Diámetro interno (m) | Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Q (lps) |
|----------|----------------------|-------------------------------|---------|
| Descarga | Sin datos            | 0.5                           | 22.7    |

**Observaciones:**

El pozo tenía una profundidad de 305 m,  
la bomba se encuentra a una profundidad de 120 m.

## Directo 25



| AUDITORÍA ENERGÉTICA             |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Responsable: Campamento Coyoacan | Fecha: 05 de agosto del 2024     |
| Sistema Operador: SACMEX         | Nombre de sitio: Pozo Directo 25 |

| DATOS GENERALES DEL SISTEMA                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----------------------------|--|--|---------------------------------|--|---|------------------------------------|--|---|----------------------------|--|---|-------------------------------------------------|--|--|-------------------|--|--|
| <b>SUMINISTRO ELÉCTRICO:</b><br>No. de servicio: 965760302553<br>Nombre usuario: L D F SIST DE AGUÍ<br>Tarifa actual: \$19,183.00 | <b>SISTEMA DE TIERRAS</b><br><table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;"></th> <th style="width: 10%;">Si</th> <th style="width: 10%;">No</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>¿Tiene sistema de tierras?</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>¿Está aterrizado el arrancador?</td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>¿Está aterrizado el transformador?</td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>¿Está aterrizado el motor?</td><td></td><td>x</td></tr> <tr><td>Long del cable desde arrancador hasta motor (m)</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Calibre del cable</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> |    | Si | No | ¿Tiene sistema de tierras? |  |  | ¿Está aterrizado el arrancador? |  | x | ¿Está aterrizado el transformador? |  | x | ¿Está aterrizado el motor? |  | x | Long del cable desde arrancador hasta motor (m) |  |  | Calibre del cable |  |  |
|                                                                                                                                   | Si                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | No |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| ¿Tiene sistema de tierras?                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| ¿Está aterrizado el arrancador?                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | x  |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| ¿Está aterrizado el transformador?                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | x  |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| ¿Está aterrizado el motor?                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | x  |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| Long del cable desde arrancador hasta motor (m)                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| Calibre del cable                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| <b>TRANSFORMADOR:</b><br>Marca: Continental<br>kVA: 112.5 kVA                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| <b>ARRANCADOR:</b><br>Tipo: Suave<br>Capacidad: 150 HP                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| <b>CAPACITORES:</b> No hay instalados<br>Capacidad: kVAr                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |
| <b>Observaciones:</b><br>Gabinete encerrado y soldado. Acceso muy complicado.<br>Indicador de funcionamiento apagado.             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |    |    |                            |  |  |                                 |  |   |                                    |  |   |                            |  |   |                                                 |  |  |                   |  |  |

| DATOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO * |                               |                            |  |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--|
| <b>DATOS DE PLACA 6 NOMINALES:</b>   |                               |                            |  |
| Marca: <u>Barnsa</u>                 | Tensión: <u>440 V</u>         | Tipo: <u>Sin dato</u>      |  |
| Capacidad: <u>Sin dato</u> HP        | Corriente: <u>156 A</u>       | # de reb: <u>Sin dato</u>  |  |
| Velocidad: <u>3500</u> rpm           | Eficiencia: <u>Sin dato</u> % | Hrs. de op. me: <u>730</u> |  |
| Observaciones: _____                 |                               |                            |  |

| DATOS DE PLACA DE LA BOMBA * |                          |                         |  |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| <b>CUERPO:</b>               |                          | <b>IMPULSOR:</b>        |  |
| Marca: <u>Bamsa</u>          | Modelo: <u>Sin dato</u>  | Tipo: <u>Mixto</u>      |  |
| Diámetro: <u>6"</u>          | Carga: <u>160</u> m.c.a. | Material: <u>Bronce</u> |  |
| Antigüedad: <u>Sin dato</u>  |                          |                         |  |
| <b>Observaciones:</b> _____  |                          |                         |  |

| MEDICIONES ELÉCTRICAS *                          |       |                     |       |           |                     |                      |
|--------------------------------------------------|-------|---------------------|-------|-----------|---------------------|----------------------|
| Tensión entre fases:                             |       | Corriente por fase: |       | Potencia: | Factor de Potencia: | Distorsión Armónica: |
| Vab:                                             | 416   | Ia:                 | 125.7 | Pa:       | 26.4 FPa            | THD-V: 15            |
| Vbc:                                             | 416.4 | Ib:                 | 126.9 | Pb:       | 26.9 FPb            | THD-I: 2.6           |
| Vca:                                             | 415.5 | Ic:                 | 125.7 | Pc:       | 26.6 FPC            |                      |
| Pot(tot):                                        |       |                     |       |           |                     |                      |
| <b>Observaciones:</b>                            |       |                     |       |           |                     |                      |
| Tablero de control descompuesto. Sin mediciones. |       |                     |       |           |                     |                      |
|                                                  |       |                     |       |           |                     |                      |
|                                                  |       |                     |       |           |                     |                      |

**NIVELES:**

Nivel de dinámico: 82 m

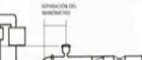
Nivel estático: 73 m

Destino del agua : Red secundaria

Separación del manómetro: 1.05 m

Altura manómetro de descarga: 12 m

Altura del tanque elevado: No aplica m



| Tubería  | Diámetro interno (m) | Presión (kg/cm²) | Q (lps) |
|----------|----------------------|------------------|---------|
| Descarga | Sin dato             | 1.5              | 29.7    |

**Observaciones:**

El pozo fue perforado a 170 m, y la bomba se encuentra 115 m.

Equipo de telemetría, modulo 5 faltante.





## Pozo Los Coyotes



| AUDITORÍA ENERGÉTICA                    |                                          |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| Responsable: <u>Campamento Coyoacan</u> | Fecha: <u>08 de agosto del 2024</u>      |
| Sistema Operador: <u>SACMEX</u>         | Nombre de sitio: <u>Pozo Los Coyotes</u> |

| <b>DATOS GENERALES DEL SISTEMA</b>                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                            |    |    |                                |   |  |                                    |  |   |                            |   |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----|----|--------------------------------|---|--|------------------------------------|--|---|----------------------------|---|--|
| <b>SUMINISTRO ELÉCTRICO:</b><br>No. de servicio LDF SIST DE ACUM.<br>Nombre usuario: 97000902086<br>Tarifa actual: \$146,870.73 | <b>SISTEMA DE TIERRAS</b><br><table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">¿Tiene sistema de tierras?</td> <td style="text-align: center; width: 50px;">SI</td> <td style="text-align: center; width: 50px;">No</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">¿Está aterrizado el arancador?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">¿Está aterrizado el transformador?</td> <td style="text-align: center;"> </td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">¿Está aterrizado el motor?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td style="text-align: center;"> </td> </tr> </table> <p>Long del cable desde arancador hasta motor _____<br/>           Calibre del cable _____</p> | ¿Tiene sistema de tierras? | SI | No | ¿Está aterrizado el arancador? | x |  | ¿Está aterrizado el transformador? |  | x | ¿Está aterrizado el motor? | x |  |
| ¿Tiene sistema de tierras?                                                                                                      | SI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | No                         |    |    |                                |   |  |                                    |  |   |                            |   |  |
| ¿Está aterrizado el arancador?                                                                                                  | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                            |    |    |                                |   |  |                                    |  |   |                            |   |  |
| ¿Está aterrizado el transformador?                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | x                          |    |    |                                |   |  |                                    |  |   |                            |   |  |
| ¿Está aterrizado el motor?                                                                                                      | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                            |    |    |                                |   |  |                                    |  |   |                            |   |  |
| <b>TRANSFORMADOR:</b><br>Marca: Continental Electric<br>kVA: 150                  KVA                                           | <b>Observaciones:</b><br>1#4 de cobre y en sumergible dos ceros<br><br><div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |    |    |                                |   |  |                                    |  |   |                            |   |  |
| <b>ARRANCADOR:</b><br>Tipo: Estado sólido<br>Capacidad: 650              HP                                                     | <div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                            |    |    |                                |   |  |                                    |  |   |                            |   |  |
| <b>CAPACITORES: No hay conectado</b><br>Capacidad:                  KVAR                                                        | <div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                            |    |    |                                |   |  |                                    |  |   |                            |   |  |

| DATOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO * |                         |                       |  |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|--|
| <b>DATOS DE PLACA 6 NOMINALES:</b>   |                         |                       |  |
| Marca: Neumann                       | Tensión: 440 V          | Tipo: Sin datos       |  |
| Capacidad: Sin datos HP              | Corriente: 105 A        | # de rebbs: Sin datos |  |
| Velocidad: 3500 rpm                  | Eficiencia: Sin datos % | Hrs. de op. mes: 730  |  |
| Observaciones:                       |                         |                       |  |

| DATOS DE PLACA DE LA BOMBA *                |                              |                         |
|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| <b>CUERPO:</b>                              |                              | <b>IMPULSOR:</b>        |
| Marca: <u>Neumann</u>                       | Modelo: <u>Sin datos</u>     | Tipo: <u>Mixto</u>      |
| Diámetro: <u>6"</u>                         | Carga: <u>150</u> m.c.a.     | Material: <u>Bronce</u> |
|                                             | Antigüedad: <u>Sin datos</u> |                         |
| <b>Observaciones:</b> <u>75 HP la bomba</u> |                              |                         |

| MEDICIONES ELÉCTRICAS * |       |                     |      |           |                     |                      |            |
|-------------------------|-------|---------------------|------|-----------|---------------------|----------------------|------------|
| Tensión entre fases:    |       | Corriente por fase: |      | Potencia: | Factor de Potencia: | Distorsión Armónica: |            |
| Vab:                    | 428.4 | Ia:                 | 46.2 | Pa:       | 60.3 FPa            | 0.86                 | THD-V: 0.5 |
| Vbc:                    | 428.5 | Ib:                 | 42.5 | Pb:       | Sin datos           | FPb Sin datos        | THD-I: 0.1 |
| Vca:                    | 431   | Ic:                 | 44.2 | Pc:       | Sin datos           | FPc Sin datos        |            |
|                         |       |                     |      | Pot(tot): | Sin datos           |                      |            |

|                               |
|-------------------------------|
| Observaciones:                |
| Solamente hay armónicos del 5 |
|                               |
|                               |

| MEDICIONES HIDRÁULICAS *         |                                        |
|----------------------------------|----------------------------------------|
| NIVELES:                         |                                        |
| Nivel de dinámico: 72 m          | Separación del manómetro: 0.85 m       |
| Nivel estático: 65 m             | Altura manómetro de descarga: 0.3 m    |
| Destino del agua: Red secundaria | Altura del tanque elevado: No aplica m |

| Tubería   | Diámetro interno (m) | Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Q (lps) |
|-----------|----------------------|-------------------------------|---------|
| Purgadora | sin datos            | 0.3                           |         |

**Observaciones:**

El pozo tiene una profundidad de 170 m,  
la bomba está colocada a 102 m.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Pozo Periférico 1



| AUDITORIA ENERGÉTICA                    |                                              |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|
| Responsable: <u>Campamento Coyoacan</u> | Fecha: <u>08 de agosto del 2024</u>          |
| Sistema Operador: <u>SACMEX</u>         | Nombre de sitio: <u>Pozo de Periferico 1</u> |

| DATOS GENERALES DEL SISTEMA                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |    |    |                            |   |  |                                 |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----------------------------|---|--|---------------------------------|---|--|------------------------------------|---|--|----------------------------|---|--|
| <b>SUMINISTRO ELÉCTRICO:</b><br>No. de servicio: 965820302759<br>Nombre usuario: L DF SIST DE ACU<br>Tarifa actual: \$10,218.00 | <b>SISTEMA DE TIERRAS</b><br><table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;"></th> <th style="width: 10%; text-align: center;">Si</th> <th style="width: 10%; text-align: center;">No</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>¿Tiene sistema de tierras?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el arrancador?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el transformador?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el motor?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Long del cable desde arrancador hasta motor (m):<br>Calibre del cable: |    | Si | No | ¿Tiene sistema de tierras? | x |  | ¿Está aterrizado el arrancador? | x |  | ¿Está aterrizado el transformador? | x |  | ¿Está aterrizado el motor? | x |  |
|                                                                                                                                 | Si                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | No |    |    |                            |   |  |                                 |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |
| ¿Tiene sistema de tierras?                                                                                                      | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |    |    |                            |   |  |                                 |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |
| ¿Está aterrizado el arrancador?                                                                                                 | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |    |    |                            |   |  |                                 |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |
| ¿Está aterrizado el transformador?                                                                                              | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |    |    |                            |   |  |                                 |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |
| ¿Está aterrizado el motor?                                                                                                      | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |    |    |                            |   |  |                                 |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |
| <b>TRANSFORMADOR:</b><br>Marca: Continental<br>kVA: 150 kVA                                                                     | <b>Observaciones:</b><br><div style="border: 1px solid black; height: 100px; margin-top: 5px;"></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |    |    |                            |   |  |                                 |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |
| <b>ARRANCADOR:</b><br>Tipo: Sin datos<br>Capacidad: Sin datos HP                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |    |    |                            |   |  |                                 |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |
| <b>CAPACITORES:</b> No hay instalados<br>Capacidad: kVar                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |    |    |                            |   |  |                                 |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |

| DATOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO * |                        |                      |  |
|--------------------------------------|------------------------|----------------------|--|
| DATOS DE PLACA 6 NOMINALES:          |                        |                      |  |
| Marca: Neumann                       | Tensión: 440 V         | Tipo: Sin dato       |  |
| Capacidad: Sin dato HP               | Corriente: 165 A       | # de rebis: Sin dato |  |
| Velocidad: 3500 rpm                  | Eficiencia: Sin dato % | Hrs. de op. mes: 730 |  |
| Observaciones:                       |                        |                      |  |

| DATOS DE PLACA DE LA BOMBA * |                          |                         |  |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| <b>CUERPO:</b>               |                          | <b>IMPULSOR:</b>        |  |
| Marca: <u>Neumann</u>        | Modelo: <u>Sin dato</u>  | Tipo: <u>Mixto</u>      |  |
| Diámetro: <u>8"</u>          | Carga: <u>160</u> m.c.a. | Material: <u>Bronce</u> |  |
| Antigüedad: <u>Sin dato</u>  |                          |                         |  |
| <b>Observaciones:</b>        |                          |                         |  |

| MEDICIONES ELÉCTRICAS * |       |                     |       |           |                     |                      |            |
|-------------------------|-------|---------------------|-------|-----------|---------------------|----------------------|------------|
| Tensión entre fases:    |       | Corriente por fase: |       | Potencia: | Factor de Potencia: | Distorsión Armónica: |            |
| Vab:                    | 427.7 | Ia:                 | 149.9 | Pa:       | 37.1 FPa            | 0.84                 | THD-V: 1.5 |
| Vbc:                    | 426.2 | Ib:                 | 147.8 | Pb:       | 36.8 Fpb            | 0.85                 | THD-I: 2.5 |
| Vca:                    | 426.6 | Ic:                 | 152.9 | Pc:       | 37.34 Fpc           | 0.85                 |            |
| Pot(tot):               |       |                     |       |           |                     |                      |            |

|                                                                              |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|
| Observaciones:                                                               |  |
| Los cables están calientes, el arrancador no funciona. Esta a tensión plena. |  |
|                                                                              |  |
|                                                                              |  |

| MEDICIONES HIDRÁULICAS *      |                |   |  |
|-------------------------------|----------------|---|--|
| NIVELES:                      |                |   |  |
| Nivel de dinámico:            | 84             | m |  |
| Nivel estático:               | 73.3           | m |  |
| Destino del agua :            | Red secundaria |   |  |
| Separación del manómetro:     | 4.17           | m |  |
| Altura manómetro de descarga: | 1.52           | m |  |
| Altura del tanque elevado:    | Sin dato       | m |  |

| Tubería  | Diámetro interno (m) | Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Q (lps) |
|----------|----------------------|-------------------------------|---------|
| Descarga | Sin dato             | 1                             | 53      |

**Observaciones:**

El pozo fue perforado a 248 m,  
la bomba se encuentra a 92 m.





## Pozo San Francisco Culhuacán



| <b>AUDITORÍA ENERGÉTICA</b>                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|---------------------------|--|--|----------------------------|---|--|--------------------------------|---|--|------------------------------------|---|--|----------------------------|---|--|------------------------------------------------|--|--|-----------------------|--|--|
| Responsable: <b>Campesino Coacyan</b>                                                                                                                | Fecha: <b>05 de agosto del 2024</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| Sistema Operador: <b>SACMEC</b>                                                                                                                      | Nombre de sitio: <b>Peto San Francisco Culhuacan</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| <b>DATOS GENERALES DEL SISTEMA</b>                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| <b>SUMINISTRO ELÉCTRICO:</b><br>No. de servicio: <b>96591020331</b><br>Nombre usuario: <b>L DF SIST DE AGUZ</b><br>Tarifa actual: <b>\$66,480.00</b> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;"></th> <th style="width: 10%; text-align: center;">Si</th> <th style="width: 10%; text-align: center;">No</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>SISTEMA DE TIERRAS</b></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Tiene sistema de tierras?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el arancador?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el transformador?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¿Está aterrizado el motor?</td> <td style="text-align: center;">x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Long del cable desde arancador hasta motor ( )</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Calibre del cable ( )</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |    | Si | No | <b>SISTEMA DE TIERRAS</b> |  |  | ¿Tiene sistema de tierras? | x |  | ¿Está aterrizado el arancador? | x |  | ¿Está aterrizado el transformador? | x |  | ¿Está aterrizado el motor? | x |  | Long del cable desde arancador hasta motor ( ) |  |  | Calibre del cable ( ) |  |  |
|                                                                                                                                                      | Si                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | No |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| <b>SISTEMA DE TIERRAS</b>                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| ¿Tiene sistema de tierras?                                                                                                                           | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| ¿Está aterrizado el arancador?                                                                                                                       | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| ¿Está aterrizado el transformador?                                                                                                                   | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| ¿Está aterrizado el motor?                                                                                                                           | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| Long del cable desde arancador hasta motor ( )                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| Calibre del cable ( )                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| <b>TRANSFORMADOR:</b><br>Marca: <b>Bultron</b><br>kVA: <b>112.5</b> kVA                                                                              | <b>Observaciones:</b><br>Caseta de facil acceso.<br><br><br><br><br><br><br><br><br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| <b>ARRANCADOR:</b><br>Tipo: <b>Suave</b><br>Capacidad: <b>100</b> HP                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |
| <b>CAPACITORES:</b> <b>No hay instalados</b><br>Capacidad:      kVAr                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |    |                           |  |  |                            |   |  |                                |   |  |                                    |   |  |                            |   |  |                                                |  |  |                       |  |  |

| DATOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO * |              |              |       |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-------|
| <b>DATOS DE PLACA 6 NOMINALES:</b>   |              |              |       |
| Marca:                               | Medina       | Tensión:     | 440 V |
| Capacidad:                           | 70 HP        | Corriente:   | 110 A |
| Velocidad:                           | 3500 rpm     | Efficiencia: | 75 %  |
| Observaciones:                       | Rehabilitado |              |       |

| DATOS DE PLACA DE LA BOMBA *                     |                    |                  |
|--------------------------------------------------|--------------------|------------------|
| <b>CUERPO:</b>                                   |                    | <b>IMPULSOR:</b> |
| Marca: Neumann                                   | Modelo: Sin datos  | Tipo: Mixto      |
| Diámetro: 6"                                     | Carga: 120 m.c.a.  | Material: Bronce |
|                                                  | Antigüedad: 8/2024 |                  |
| <b>Observaciones:</b> 30 lps, motor rehabilitado |                    |                  |

| MEDICIONES ELÉCTRICAS *                  |          |                      |                     |                      |
|------------------------------------------|----------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Tensión entre fases: Corriente por fase: |          | Potencia:            | Factor de Potencia: | Distorsión Armónica: |
| Vab: 450                                 | Ia: 83.4 | Pa: 43.6             | FpA Sin dato        | THD-V: Sin dato      |
| Vbc: 448                                 | Ib: 83.4 | Pb: Sin dato         | FpB Sin dato        | THD-I: Sin dato      |
| Vca: 445                                 | Ic: 85   | Pc: Sin dato         | FpC Sin dato        |                      |
|                                          |          | Pot(total): Sin dato |                     |                      |
| Observaciones:                           |          |                      |                     |                      |
|                                          |          |                      |                     |                      |
|                                          |          |                      |                     |                      |
|                                          |          |                      |                     |                      |

**NIVELES:**

Nivel de dinámico:      82      m

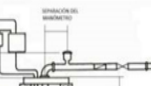
Nivel estático:          73      m

Destino del agua :      \_\_\_\_\_

Separación del manómetro:      0.71      m

Altura manómetro de descarga:      1.21      m

Altura del tanque elevado:      \_\_\_\_\_ m



| Tubería  | Diámetro interno (m) | Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Q (lps) |
|----------|----------------------|-------------------------------|---------|
| Descarga | Sin datos            | 0.5                           | 30      |

**Observaciones:**

El pozo tiene un aprofundidad de 182 m,  
la bomba se encuentra a 110 m.

Son 18 tubos de 6" de 6.1 m de longitud, 110 m de tubo en el pozo

## Pozo Auxiliar Xotepingo 1C



| <b>AUDITORIA ENERGÉTICA</b>     |                                              |
|---------------------------------|----------------------------------------------|
| Responsable: Campamento Coyacan | Fecha: 05 de agosto del 2024.                |
| Sistema Operador: SACMEX        | Nombre de sitio: Pozo Auxiliar Xotepingue 1C |

| <b>DATOS GENERALES DEL SISTEMA</b>                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|
| <b>SUMINISTRO ELÉCTRICO:</b><br><br>No. de servicio: _____<br>Nombre usuario: _____<br>Tarifa actual: _____<br>No hay datos | <b>SISTEMA DE TIERRAS</b><br><br>¿Tiene sistema de tierras?<br>¿Está aterrizado el arrancador?<br>¿Está aterrizado el transformador?<br>¿Está aterrizado el motor?<br>Long del cable desde arrancador hasta motor<br>Cilbre del cable                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |
| <b>TRANSFORMADOR:</b><br><br>Marca: _____ Blegible: _____<br>kVA/a:         150                                 kVA         | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Si</th> <th style="width: 50%;">No</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="height: 20px;"></td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td><td style="text-align: center;">x</td></tr> </tbody> </table> | Si | No |  | x |  | x |  | x |  | x |  | x |
| Si                                                                                                                          | No                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |
|                                                                                                                             | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |
|                                                                                                                             | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |
|                                                                                                                             | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |
|                                                                                                                             | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |
|                                                                                                                             | x                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |
| <b>ARRANCADOR:</b><br><br>Tipo: _____ Suave<br>Capacidad:         150                                 HP                    | <b>Observaciones:</b><br><br>Gabinete cerrado con jaula de difícil acceso.<br><br><div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |
| <b>CAPACITORES:</b> <u>No están instalados</u><br><br>Capacidad:         30                                 kVAr            | <div style="border: 1px solid black; height: 100px;"></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |    |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |

| DATOS DE PLACA DEL MOTOR ELÉCTRICO |                         |                      |  |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------|--|
| DATOS DE PLACA 6 NOMINALES:        |                         |                      |  |
| Marca: Neuman                      | Tensión: 440 V          | Tipo: Sin datos      |  |
| Capacidad: 100 HP                  | Corriente: 110 A        | # de rebb: Sin datos |  |
| Velocidad: 3500 rpm                | Eficiencia: Sin datos % | Hrs. de op. mes: 730 |  |
| Observaciones:                     |                         |                      |  |

| DATOS DE PLACA DE LA BOMBA * |                             |  |                         |
|------------------------------|-----------------------------|--|-------------------------|
| <b>CUERPO:</b>               |                             |  | <b>IMPULSOR:</b>        |
| Marca: <u>Neuman</u>         | Modelo: <u>Sin datos</u>    |  | Tipo: <u>Mixto</u>      |
| Diámetro: <u>15</u>          | Carga: <u>160</u> m.c.a.    |  | Material: <u>Bronce</u> |
|                              | Antigüedad: <u>3/6/2023</u> |  |                         |
| <b>Observaciones:</b>        |                             |  |                         |

| MEDICIONES ELÉCTRICAS * |     |                     |           |                     |                      |      |
|-------------------------|-----|---------------------|-----------|---------------------|----------------------|------|
| Tensión entre fases:    |     | Corriente por fase: | Potencia: | Factor de Potencia: | Distorsión Armónica: |      |
| Vab:                    | 411 | Ia:                 | 82,6      | Pa:                 | 52,7 FPa             | 0,88 |
| Vbc:                    | 411 | Ib:                 | 81,9      | Pb:                 | 61,9 F Pb            | 0,88 |
| Vca:                    | 411 | Ic:                 | 90,2      | Pc:                 | 90,2 F Pc            | 0,89 |
|                         |     | Pot(tot):           |           |                     |                      |      |
| <b>Observaciones:</b>   |     |                     |           |                     |                      |      |
|                         |     |                     |           |                     |                      |      |

**MEDICIONES HIDRÁULICAS \***

**NIVELES:**

|                    |                |   |                               |      |   |
|--------------------|----------------|---|-------------------------------|------|---|
| Nivel de dinámico: | 85             | m | Separación del manómetro:     | 1.91 | m |
| Nivel estático:    | 75             | m | Altura manómetro de descarga: | 0.61 | m |
| Destino del agua:  | Red secundaria |   | Altura del tanque elevado:    |      | m |

| Tubería  | Diámetro interno (m) | Presión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Q (lps) |
|----------|----------------------|-------------------------------|---------|
| Descarga | Sin datos            | 1.2                           | 30      |

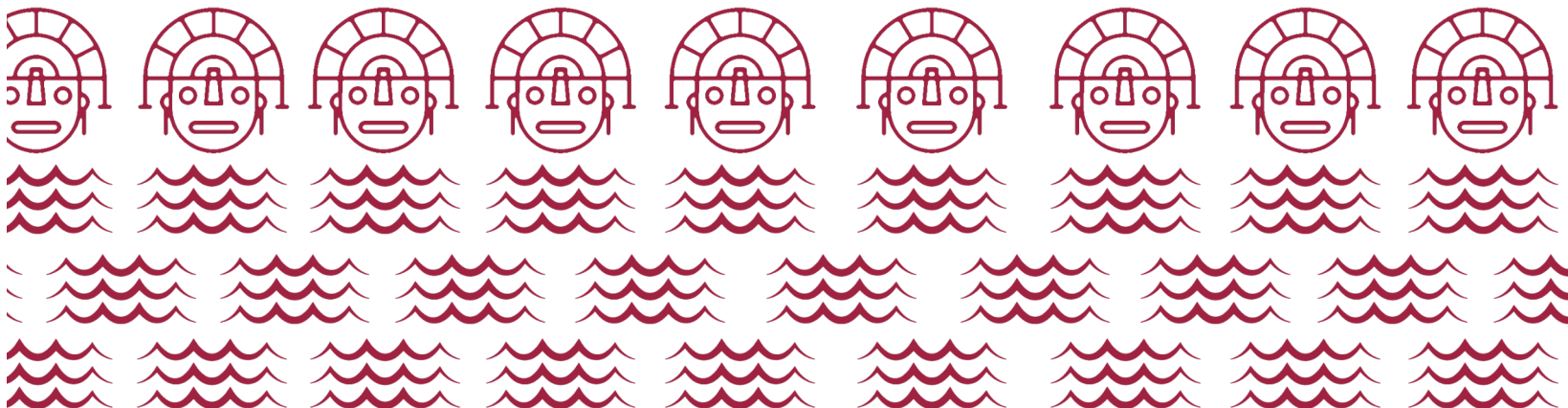
**Observaciones:**

La profundidad del pozo es de 182 m,  
la bomba se encuentra 104 m.





# Anexo 2



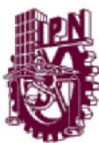
## SACMEX Pozo Directo 25 Propuesta fotovoltaica



### SACMEX Pozo Directo 25 Propuesta fotovoltaica



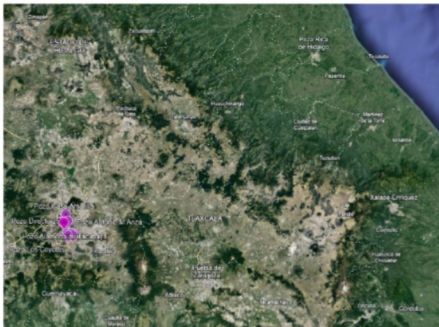
## Pozo Directo 25 ubicación geográfica



### Pozo Directo 25 Ubicación Geográfica



Macrolocalización:



**Estado:** Ciudad de México  
**Delegación:** Coyoacán

Microlocalización:



**Latitud:** 19°19'48" N  
**Longitud:** 99°09'46" O



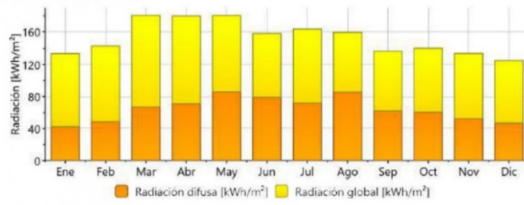
## Pozo Directo 25 irradiación solar



### Pozo Directo 25 Irradiación solar

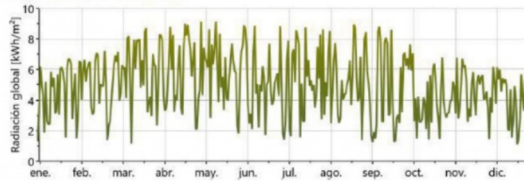


Radiación mensual



Utilizando el software Meteonorm se estima la radiación solar que incidiría sobre el panel fotovoltaico usando bases de datos globales y regionales en el mundo.

Radiación global diaria

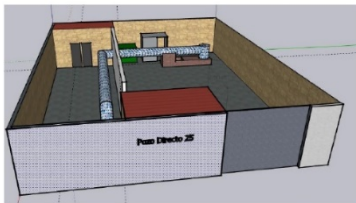


**Irradiación Global Horizontal:**  
**Máxima:** 6.12 kWh/m²/día  
**Promedio:** 5.20 kWh/m²/día  
**Mínima:** 4.61 kWh/m²/día

## Pozo Directo 25 distribución



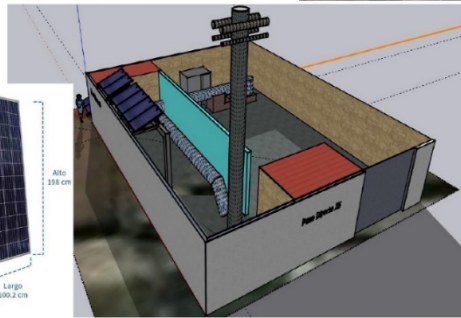
### Pozo Directo 25 Distribución



El pozo tiene un pasillo a la derecha que solo sirve de acceso a la caseta de telemetría. Se propone utilizar ese pasillo para la instalación.



Se simula una instalación mínima de 6 módulos de 400 W. Esto se puede duplicar a lo largo de la línea de paneles presentados y se puede cuadruplicar escalándolo hasta la línea marcada en azul. No se consideraron en esta simulación las casetas (techos rojos).





## Pozo Directo 25 energía generada



## Pozo Directo 25 análisis económico





