ESCUELA MILITAR DE CHORRILLOS

“CORONEL FRANCISCO BOLOGNESI”

“Propuesta de sistema autónomo de abastecimiento de agua con energía solar para el Fuerte Arica”

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Licenciado en Ciencias Militares con Mención en Ingeniería

Autor:

YEREMY LLERENA DELGADO

(0009-0008-3390-9743)

Lima – Perú

2025

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

7% Fuentes de Internet
2% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con amor y gratitud a mi familia, quienes han sido mi fuerza y mi refugio en cada etapa de mi vida. A mis padres, por enseñarme con su ejemplo la disciplina, el esfuerzo y la perseverancia que hoy me sostienen. A mis hermanos, por su compañía incondicional y sus palabras de aliento en los momentos difíciles. A mi familia en general, que con paciencia y comprensión supieron apoyarme en mis estudios y sueños. Este logro es tan suyo como mío, porque sin ustedes este camino no habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi profundo respeto y gratitud a los valerosos soldados de la 6.ª Brigada Blindada, cuyo compromiso y entrega son ejemplo de honor y disciplina. Su esfuerzo constante en condiciones muchas veces difíciles inspira y dignifica el servicio a la patria. Gracias por su apoyo y colaboración en la recopilación de información y experiencias que enriquecieron este trabajo. Su espíritu de cuerpo y solidaridad demuestran que la fortaleza del Ejército reside en cada uno de ustedes. Dedico estas páginas como un reconocimiento a su labor incansable y a su aporte silencioso pero invaluable al país.

INDICE

INDICE 5
RESUMEN 7
INTRODUCCIÓN 8
CAPÍTULO I 9
INFORMACIÓN GENERAL 9
1.1 Descripción de la Dependencia o Unidad 9
1.2 Tipo de Actividad que Desarrolló (Función y Puesto) 9
1.3. Lugar y Fecha 10
1.4 Misión de la Unidad 10
1.5 Visión de la Unidad 10
1.6 Funciones del puesto que ocupó 11
CAPITULO II 13
2.1 Antecedentes 13
2.1.1 Antecedentes internacionales 13
2.2 Antecedentes Nacionales 14
2,2 Base Teórica 15
2.2.1 Creación del ejercito del Perú 15
2.2.2 Creación y evolución de las unidades blindadas en el Perú 17
2.2.3 Climatología y humedad atmosférica del entorno Fuerte Arica 23
2.2.4 estudio y cálculos del agua que se necesita. 25
CAPÍTULO III 31
DESARROLLO DEL TEMA 31
3.1 Campo de aplicación 31
3.2 Tipo de aplicación 31
3.3 Diagnóstico de la situación actual .....

3.4.1 Objetivo de la propuesta 36
3.4.2 Descripción desarrollada de la propuesta 37
CONCLUSIONES 47
RECOMENDACIONES 49
BIBLIOGRAFIA 51
Anexo A 53
..... **¡Error! Marcador no definido.**

RESUMEN

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional se desarrolló en el Batallón de Ingeniería de Combate Blindado N.° 6, unidad perteneciente a la 6.ª Brigada Blindada del Ejército del Perú, con sede en el Fuerte Arica, Locumba/Ite (Tacna). Esta investigación, titulada "Propuesta de sistema autónomo de abastecimiento de agua con energía solar para el Fuerte Arica", tiene como objetivo general asegurar un abastecimiento continuo, seguro y autónomo de agua para las unidades militares y familias asentadas en la plaza, integrando energía renovable y tratamiento básico del recurso para garantizar cantidad y calidad en un entorno desértico.

La descripción y planteamiento del problema parte de la constatación de que el Fuerte Arica depende actualmente de un sistema de conducción de agua de 24 kilómetros desde un pozo distante, con elevados costos energéticos y riesgos permanentes de interrupción. Esta dependencia limita la operatividad, posterga actividades esenciales y condiciona la calidad de vida de los efectivos y sus familias. Frente a este contexto, se identificó la necesidad de un sistema propio que combine captación local mediante pozo tubular, bombeo con energía solar fotovoltaica, almacenamiento en tanque elevado ("pozo aéreo") y purificación sencilla para eliminar azufre y metales presentes en el acuífero.

Como resultado de la aplicación de las estrategias propuestas, se diseñó un sistema integral que permite captar, bombear y almacenar 500 m³ de agua diaria dentro del propio fuerte, reduciendo costos operativos y riesgos logísticos. El modelo propone un pozo tubular de 40 metros, dos bombas sumergibles alimentadas con paneles solares y un tanque elevado de 500 m³ que garantiza continuidad 24 horas, además de un tren de tratamiento de aireación y filtración mantenible por el propio personal. Esta propuesta ofrece una solución sostenible y replicable en otras instalaciones militares en zonas áridas. Palabras clave: Fuerte Arica, 6.ª Brigada Blindada, agua subterránea, energía solar fotovoltaica, tanque elevado, pozo tubular, purificación, autosuficiencia hídrica.

INTRODUCCIÓN

La motivación personal y profesional del autor para realizar este trabajo nace de la experiencia como Mayor Ejecutivo y S-3 de Operaciones en el Batallón de Ingeniería de Combate Blindado N° 6, durante el periodo 2019 al 2021 en el Fuerte Arica (Locumba/Ite, Tacna). En ese tiempo se pudo observar de cerca cómo la escasez y la dependencia externa del agua afectan no solo la logística y la operatividad militar, sino también la vida cotidiana de soldados, trabajadores, Empleados civiles y a los mismos familiares de los trabajadores. Esta vivencia nos llevó a concebir una propuesta que combine la tradición de autosuficiencia del Ejército con tecnologías renovables para asegurar un recurso tan vital como es el agua en un entorno adverso.

El Trabajo de Suficiencia Profesional se desarrolla en tres capítulos. El Capítulo I presenta la información general de la dependencia; describe la misión, visión, funciones y contexto operativo del Batallón de Ingeniería de Combate Blindado N.° 6 en el Fuerte Arica, así como las tareas desempeñadas por el autor que sirvieron de base para identificar el problema. El Capítulo II expone los antecedentes nacionales e internacionales y la base teórica que sustentan la propuesta, incluyendo estudios de bombeo solar, gestión de acuíferos y tratamientos sencillos para aguas subterráneas con azufre y metales. El Capítulo III desarrolla el tema central como es la propuesta del sistema autónomo de abastecimiento de agua con energía solar para el Fuerte Arica, detallando el diagnóstico, los componentes del diseño (pozo tubular, bombeo fotovoltaico, tanque elevado y purificación) y los beneficios humanos y operativos que se esperan obtener.

En suma, esta introducción explica que el presente trabajo es el resultado de una vivencia directa y de un compromiso con la mejora de las condiciones de vida y operatividad en el Fuerte Arica. Su propósito es transformar la escasez hídrica en una oportunidad de innovación, aportando un modelo sostenible que refuerce la capacidad del Ejército del Perú para servir y proteger tanto a sus miembros como a la comunidad circundante.

CAPÍTULO I

INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Descripción de la Dependencia o Unidad

La recolección de datos para el presente trabajo tubo su origen en el Batallón de Ingeniería de Combate Blindado N° 6 (Bing C/B N° 6), perteneciente a la 6.ª Brigada Blindada de la 3.ª División de Ejército, con sede en Tacna, sector Ite. Esta unidad constituye un componente clave del arma de Ingeniería dentro del Ejército del Perú, al tener la responsabilidad de proporcionar apoyo de ingeniería en operaciones de combate y en misiones de apoyo a la comunidad. Su quehacer cotidiano integra la movilidad, la protección y la supervivencia de las fuerzas blindadas, así como la respuesta rápida ante emergencias civiles. Durante el periodo comprendido entre el 1.º de enero de 2019 y el 31 de diciembre de 2021, el autor se laboró en esta dependencia, participando directamente en acciones operativas, administrativas y de coordinación interinstitucional orientadas tanto al ámbito militar como al beneficio de la población civil

1.2 Tipo de Actividad que Desarrolló (Función y Puesto)

El puesto desempeñado fue el de Mayor Ejecutivo y S-3 de Operaciones, lo que implicó asumir la conducción de procesos estratégicos y tácticos en la planificación, ejecución y control de las operaciones del batallón. Entre las funciones realizadas destacan la organización y capacitación del personal bajo el mando; la planificación y supervisión del armado de puentes Bailey y MGB; la coordinación y ejecución de tareas de remoción de escombros, búsqueda y rescate de civiles, y primeros auxilios en caso de catástrofes. Asimismo, se gestionaron convenios con las municipalidades de Ite y Locumba para desarrollar proyectos comunitarios como mantenimiento y repavimentación de carreteras, instalación de casas prefabricadas para damnificados, limpieza y descolmatación de ríos, Esta experiencia permitió articular las capacidades de la

unidad militar con las necesidades reales de la comunidad, demostrando la versatilidad del arma de Ingeniería y la importancia de la coordinación civil y militar

1.3. Lugar y Fecha

Las actividades se desarrollaron en el Fuerte Arica – Tacna, sector Ite, durante el periodo 2019 al 2021, en el marco de las funciones asignadas a la 6.ª Brigada Blindada. Este contexto geográfico es significativo por la ubicación estratégica de la unidad en la zona sur del país y por el tipo de amenazas y necesidades que enfrenta la población local, como riesgos de inundación, déficit hídrico y emergencias derivadas de fenómenos naturales

1.4 Misión de la Unidad

La misión del Batallón de Ingeniería de Combate Blindado Nº 6 es proporcionar apoyo de ingeniería en operaciones de combate, incluyendo la construcción de puentes y otras obras de infraestructura, la eliminación de obstáculos y la fortificación de posiciones para facilitar el movimiento de las fuerzas blindadas y la protección de la nación. Esta misión no solo refuerza las capacidades operativas del Ejército, sino que también extiende su alcance a la gestión de riesgos y emergencias, demostrando un compromiso permanente con la seguridad integral del país

1.5 Visión de la Unidad

La visión de esta unidad es convertirse en un referente nacional en apoyo de ingeniería de combate y movilidad a fuerzas blindadas y combinadas, garantizando rutas, fortificaciones y obras necesarias para la maniobra y la protección, y prestando además apoyo en emergencias y desastres. Se proyecta como una organización moderna, preparada y solidaria, capaz de integrar tecnología, recursos humanos y alianzas interinstitucionales para responder eficazmente a las demandas del contexto nacional y regional

1.6 Funciones del puesto que ocupó

En su calidad de Mayor Ejecutivo y Oficial S-3 de Operaciones del Batallón de Ingeniería de Combate Blindado N.° 6, el autor asumió la planificación, dirección y supervisión integral de las operaciones militares y de apoyo a la comunidad; estas funciones se desplegaron en varios ejes:

1. Planificación Operacional esto implica diseñó planes y órdenes de operaciones para el empleo de la Compañía y sus secciones en ejercicios y operaciones reales; elaboró calendarios anuales de instrucción y adiestramiento; preparó directivas para ejercicios tácticos, simulacros y desplazamientos logísticos.
2. Control y seguimiento mediante la coordinación y control del cumplimiento de las actividades de entrenamiento y operaciones; evaluó la preparación del personal y la disponibilidad de medios, asegurando que cada misión contara con los recursos humanos y materiales necesarios.
3. Capacitación del personal mediante la instrucción y certificación al personal en técnicas de ingeniería de combate, armado de puentes Bailey y MGB, demolición y remoción de obstáculos, búsqueda y rescate, primeros auxilios y procedimientos de seguridad; organizó prácticas en coordinación con otras unidades para fortalecer la interoperabilidad.
4. Coordinación interinstitucional y comunitaria mediante la gestión de convenios con municipalidades de Ite y Locumba para ejecutar proyectos de beneficio social como repavimentación de vías, instalación de viviendas prefabricadas para damnificados, limpieza y descolmatación de ríos y perforación de pozos de agua, integrando así la misión militar con las necesidades de la población civil.
5. Operaciones de ayuda humanitaria y defensa civil con la planificación, supervisión y el despliegue de brigadas para la entrega ordenada de ayuda humanitaria, atención a damnificados y mitigación de desastres naturales; coordinó con Defensa Civil, INDECI y autoridades locales para respuestas conjuntas ante emergencias.

6. Logística y seguridad operativa mediante la verificación, el estado y disponibilidad de material de ingeniería, equipos de bombeo, vehículos y herramientas; adoptó medidas de seguridad para proteger al personal y los recursos en cada operación.
7. Evaluación y mejora continua mediante la elaboración de informes técnicos y lecciones aprendidas después de cada operación para retroalimentar los planes de instrucción y actualizar los protocolos del batallón, contribuyendo al desarrollo doctrinario del arma de Ingeniería.

CAPITULO II

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Ashraf (2021) *Memorial University, Canadá (Diseño/optimización de bombeo solar;* presenta el diseño, optimización y análisis de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico; modela la irradiancia, demanda diaria, HMT, rendimiento y costos, comparando configuraciones y estrategias de almacenamiento (energía vs. agua). La idea fuerza es la de almacenar en tanques suele ser más barato y robusto que llenar de baterías. Esta investigación nos provee criterios y fórmulas para dimensionar paneles, bomba y almacenamiento como tanque del Fuerte Arica, reduciendo dependencia de baterías y asegurando continuidad diaria.

Moreno (2022), *TecNM, México (Estación de bombeo FV con hoja de cálculo)* diseña una estación de bombeo con energía solar FV para comunidades con bajos recursos y alto consumo. El trabajo incluye hojas de cálculo para seleccionar la bomba sumergible, módulos de FV y control, en función de HSP, profundidad y demanda. Esta investigación nos da una plantilla práctica para pasar de hipótesis a números y potencia de la bomba tubular, voltaje del arreglo FV, MPPT e instrumentación básica para una operación confiable off-grid.

Barrios (2022), Universidad de Chile (Gobernanza en desierto árido) esta investigación aborda la gobernanza del agua potable en Antofagasta (desierto de Atacama) y explica cómo decisiones de política, regulación, fuentes alternativas y continuidad del servicio impactan la sostenibilidad del abastecimiento urbano en zona hiperseca. Aterriza que la tecnología sola no basta; hace falta gestión como (roles, financiamiento, mantenimiento y reglas claras). Este trabajo fortalece la justificación social e institucional; además de perforar el pozo y montar paneles, para lo cual se necesitas reglas de operación, mantenimiento y seguimiento para asegurar agua continua y de calidad a la población del Fuerte.

2.2 Antecedentes Nacionales

Campos (2024); *UNJBG, Tacna (Acuífero Caplina)* estudia el acuífero Caplina y propone medidas de sostenibilidad frente a la sobreexplotación y la intrusión salina en un contexto desértico como Tacna. El trabajo sistematiza balance hídrico histórico, niveles piezométricos y degradación de calidad, y plantea un paquete de acciones como control de extracciones, monitoreo continuo, recarga artificial y gestión institucional del recurso. La tesis es potente porque une el diagnóstico hidrogeológico con decisiones de gestión que aterrizan en políticas locales y mecanismos de control. En clave humana se recuerda que el agua bajo nuestros pies es finita; si se extrae más de lo que entra, el pozo se agota o se saliniza. Esta investigación nos brinda un marco técnico y normativo local para justificar el nuevo pozo tubular del Fuerte Arica, con límites de explotación y un plan de seguimiento (niveles, conductividad, caudal), alineado a un escenario árido.

Torres (2024), *Univ. Continental (Bombeo fotovoltaico)* diseña un sistema de bombeo de agua con energía fotovoltaica así mismo estima demanda hídrica, selecciona bomba, calcula HMT, evalúa recurso solar, dimensiona paneles e integra automatización. El aporte va más allá del riego nos muestra el paso a paso cómo casar curva de bomba con generación solar y pérdidas reales. Traducido a lenguaje cotidiano; el elegir bien la bomba y los paneles es como emparejar "pulmón y músculos" del sistema; si uno sobra o falta, el conjunto rinde mal. Esta investigación nos entrega la metodología exacta para dimensionar bombas tubulares alimentadas con paneles solares, útil para tu diseño en un fuerte sin red eléctrica y con irradiancia alta.

Agurto (2021); *UNTumbes (Pozo tubular: diseño y pruebas)* desarrolla el sustento hidrogeológico para autorizar y diseñar un pozo tubular, detallando ensayos de bombeo de corto y largo plazo, selección de filtros ranurados, diámetros, régimen de explotación ósea horas o días y caudal seguro. En términos prácticos, enseña a "no matar" al pozo; el ensayo nos revela cuánto puede dar sin colapsar el nivel. Y esto aporta la ruta técnica para un pozo de 40 m lo que nos

brinda una protección de admisión, pruebas de aforo y una regla de operación que evite abatimientos severos, algo clave en zonas desérticas.

Calcine (2024), UNSAAC (Oxidación y remoción de Fe/Mn) analiza la cinética de precipitación de hierro y manganeso en agua subterránea usando aireación e hipoclorito. Aunque tu reto inmediato es el azufre (H_2S/compuestos reducidos), la lógica es transferible de oxidar especies disueltas y retirarlas por filtración. En lenguaje claro; primero "se hace respirar" el agua o se dosifica un oxidante; luego, el sólido formado se filtra. Es por esto que esta investigación Te brinda parámetros de operación (tiempos de contacto, dosis, pH) para el tren de pre tratamiento del H_2S (aireación/oxidación más filtro), integrable a tu sala de bombas y tanque elevado.

2,2 Base Teórica

2.2.1 Creación del ejercito del Perú

La creación del Ejército del Perú constituye uno de los hitos fundamentales en la consolidación de nuestra identidad como nación independiente. Desde su génesis, no solo ha sido una organización militar orientada a la defensa del territorio, sino también un actor central en la construcción de la República y en la formación de valores cívicos y patrióticos. Comprender su nacimiento implica situarlo en el contexto de las luchas por la emancipación americana y en las complejas tareas de un Estado que apenas se estaba gestando.

El proceso de creación del Ejército se enmarca en las Guerras de Independencia del siglo XIX. Durante los años previos a 1821, diversas expediciones libertadoras procedentes de los Andes y del Río de la Plata encontraron en el territorio peruano un escenario decisivo para la ruptura con el dominio colonial. Las fuerzas patriotas, inicialmente compuestas por milicias locales y contingentes enviados por otras provincias insurgentes, dieron paso progresivamente a la necesidad de un ejército propio.

El 27 de agosto de 1821, pocos días después de proclamada la independencia del Perú por el general José de San Martín (28 de julio de 1821), se expidió el Decreto Supremo que organiza el Ejército del Perú. Esta disposición formalizó la existencia de un cuerpo militar nacional bajo el nombre de "Ejército Unido Libertador del Perú", integrado por las fuerzas patriotas peruanas y las tropas auxiliares de las Provincias Unidas del Río de la Plata. La norma estableció su estructura básica, jerarquías, unidades y la obligación de servir a la defensa de la nueva República.

Con el paso del tiempo, y particularmente tras las campañas de Junín (6 de agosto de 1824) y Ayacucho (9 de diciembre de 1824), el Ejército del Perú adquirió una plena identidad propia. Muchos oficiales y soldados formados en las luchas libertarias se incorporaron a la naciente institución, aportando experiencia, disciplina y sentido patriótico. A partir de allí, comenzó un proceso de profesionalización y consolidación administrativa que dio lugar a las primeras escuelas y reglamentos militares peruanos.

Desde su origen, la misión del Ejército fue garantizar la defensa de la independencia, integridad territorial y soberanía del Perú, pero también apoyar en la consolidación del orden interno y el desarrollo de la naciente República. A diferencia de otros ejércitos latinoamericanos de la época, el Ejército peruano se creó en estrecha relación con las necesidades de un país diverso, geográficamente complejo y con desafíos de integración nacional.

Durante el siglo XIX, el Ejército participó tanto en conflictos externos como son las Guerras con España, con Chile y con otros vecinos; como en tareas internas de pacificación y construcción de infraestructura estratégica como caminos, puentes, telégrafos. Esto fue sentando las bases de su carácter no solo combativo, sino también de apoyo al desarrollo nacional, una vocación que se mantiene hasta hoy y que se refleja en las operaciones de defensa civil y ayuda humanitaria.

Hablar de la creación del Ejército del Perú no es solo recordar un decreto o una fecha; es evocar el momento en que miles de hombres y mujeres decidieron, con enorme sacrificio, defender un ideal de libertad y organizarse bajo un mismo estandarte para protegerlo. La institución heredó ese espíritu de servicio y lo ha transmitido de generación en generación, formando oficiales y soldados que, además de su función defensiva, han estado presentes en desastres naturales, obras de infraestructura, campañas de vacunación y apoyo social.

En ese sentido, la creación del Ejército es también la historia de la construcción del Estado peruano. Su evolución refleja los avances y retos del país como de un ejército de libertadores improvisados a una fuerza profesional con doctrina propia, equipada tecnológicamente y comprometida con los principios democráticos. Para los miembros de hoy, conocer su origen no es un mero dato histórico, sino una guía ética que los conecta con los valores de independencia, unidad y servicio al pueblo.

Es por esto que la presencia del Ejército del Perú en el ámbito de Locumba (Tacna) se sostiene en la asignación orgánica de la 6.ª Brigada Blindada y sus unidades subordinadas en la plaza militar conocida como Fuerte Arica. Dicha denominación y el asiento de la gran unidad se encuentran sustentados en normas internas y disposiciones administrativas del sector Defensa (resoluciones y órdenes generales), publicadas o registradas conforme a los procedimientos vigentes. En los archivos de la unidad consultados para este trabajo, la denominación "Fuerte Arica" se consigna como sede efectiva de operaciones, en coherencia con la documentación de campo, los planes orgánicos y las acciones de apoyo a la comunidad desarrolladas en el entorno de Locumba/Ite (Tacna).

2.2.2 Creación y evolución de las unidades blindadas en el Perú

La historia de las unidades blindadas en el Perú es, al mismo tiempo, la historia de la modernización del Ejército y de la manera en que el país aprendió a moverse con rapidez y protección en un territorio diverso y exigente. El arma

blindada no nació de un decreto aislado; surgió de una necesidad estratégica como la de disponer de medios con movilidad, potencia de fuego y protección que permitieran decidir la maniobra y preservar la vida del soldado. Esta decisión que hoy parece obvia, fue el resultado de observar el mundo, estudiar la experiencia regional y adaptar la doctrina a nuestras condiciones geográficas, logísticas y humanas.

En el tránsito del siglo XX, los ejércitos del mundo pasaron de la tracción animal a la motorización, y de allí a la mecanización y blindadura. El Perú siguió ese camino con una convicción progresiva; por lo que primero se incorporó vehículos de transporte y reconocimiento; luego, medios protegidos capaces de acompañar a la infantería en el ataque y sostener el combate maniobrado. Este salto cualitativo no fue solo tecnológico. Supuso crear estructuras orgánicas como compañías, escuadrones, batallones y, más tarde, brigadas y, en paralelo, doctrina, escuelas, talleres y cadenas logísticas para sostener "el acero" en el tiempo.

La creación formal de unidades blindadas se gestó por etapas. En un inicio, se organizaron pequeñas unidades compañías y escuadrones destinadas a explorar, apoyar el asalto y romper resistencias puntuales. Pronto se entendió que el blindado no era un "apoyo" accesorio, sino un sistema de combate que requería:

Cuadros profesionales de oficiales, técnicos y tropa formados en mecánica, tiro, comunicaciones y táctica blindada.

Doctrina propia y manuales de empleo en ofensiva, defensiva y estabilidad, con procedimientos para el combate combinado (infantería-ingeniería-artillería-comunicaciones).

Mantenimiento escalonado como pelotones de fierros y talleres que aseguren disponibilidad, porque un blindado sin mantenimiento es potencia inmóvil.

Seguridad y logística como la munición específica, combustibles, lubricantes, repuestos, y un tren de combate que "alimente" a la unidad en marcha.

Con estos pilares, las unidades blindadas pasaron de "anexos" de otras armas a organizaciones con identidad y cultura profesional, con mandos, tradiciones y metas propias.

La maduración doctrinaria llevó a integrar los elementos dispersos en grandes unidades blindadas, capaces de ejecutar maniobras profundas y sostener el combate a nivel operacional. El modelo de brigada blindada permitió concentrar potencia y, a la vez, distribuirla con flexibilidad. Un cuartel general que planifica y conduce; batallones de carros y de infantería mecanizada que cierran la pinza; ingenieros que abren rutas, colocan o levantan obstáculos y garantizan la movilidad; la artillería que bate objetivos y cubre los ejes; comunicaciones que integran todo; intendencia y material de guerra que hacen posible la operación.

Este salto organizacional consolidó la "escuela blindada" peruana; una forma de pensar la maniobra donde el tiempo, el espacio y la protección se combinan para romper el equilibrio del adversario, sostener el impulso y decidir la batalla.

Por lo que el Perú no es un teatro de operaciones homogéneo. Costa desértica, sierra accidentada y selva húmeda exigen soluciones distintas. La evolución de las unidades blindadas incorporó esa realidad:

En la costa, el blindado explota su potencial de velocidad y fuego en espacios abiertos, con énfasis en movilidad táctica y logística.

En la sierra, la maniobra exige planificación de ejes, cuidado de pendientes y alturas, y mayor integración con ingeniería para garantizar rutas y pasos.

En la selva, la prioridad es protección y movilidad en ambientes restrictivos, con inteligencia, reconocimiento y apoyo aéreo/logístico cercanos.

El entrenamiento se adaptó a ese mosaico; es decir el tiro, conducción, comunicación, mantenimiento y vida en campaña se ejercitan como un solo tejido. Porque una unidad blindada es tanto el metal como la tripulación que lo hace posible.

La creación de unidades blindadas también trajo responsabilidades fuera del campo de batalla. Su capacidad de tracción, movilidad y protección las hace valiosas en emergencias y desastres como abrir rutas, remolcar, evacuar, llevar agua y víveres a zonas aisladas. La doctrina nacional incorporó esta vocación de servicio, es así que el blindado como instrumento de seguridad y apoyo a la ciudadanía, alineado con la misión constitucional del Ejército.

Toda unidad blindada descansa en tres convicciones las cuales son:

Liderazgo: la decisión del jefe en el momento preciso vale tanto como la coraza; coordinar fuegos, cerrar brechas y cuidar a la tropa es el núcleo ético de la maniobra blindada.

Ética: potencia de fuego con respeto irrestricto a las normas de derecho internacional humanitario; la fuerza al servicio de la ley y del ciudadano.

Mantenimiento: sin cadenas logísticas sólidas, el acero se agota. La disciplina del mantenimiento es la garantía de que el blindado esté listo cuando el país lo necesita.

En Síntesis; la creación de las unidades blindadas en el Perú es la historia de cómo el Ejército decidió proteger mejor a su gente y multiplicar su capacidad de decisión en la maniobra. Es la suma de tecnología y carácter, de doctrina y servicio. Detrás de cada unidad hay tripulantes que conocen el pulso del motor, confían en su jefe y cuidan el equipo como se cuida un compañero. Hoy, esas unidades son

parte de la columna vertebral de la defensa, pero también un brazo solidario cuando el país sufre. En ese doble rol espada y escudo, potencia y auxilio se reconoce el sentido profundo de su creación.

Hablar de Fuerte Arica en Locumba/Ite (Tacna) es hablar de una plaza que, más que un predio militar, funciona como punto de apoyo estratégico para el sur del país; es un lugar donde la geografía áspera del desierto y el compromiso del personal se encuentran a diario. En la memoria institucional del arma de Ingeniería, el fuerte se reconoce como la casa donde la 6.ª Brigada Blindada organiza su maniobra y desde donde sus unidades entre ellas el Batallón de Ingeniería de Combate Blindado N.° 6 sostienen operaciones, instrucción y apoyo a la comunidad.

Como sucede con muchas plazas del Ejército, la "creación" de Fuerte Arica no fue un acto único y aislado, sino un proceso de ocupación progresiva; ya que primero, el asentamiento del comando de la gran unidad y los servicios indispensables; luego, la llegada de batallones y compañías según planes orgánicos y necesidades operacionales. En ese tránsito, el Bing C/B N.° 6 consolidó su presencia en el fuerte con un mandato claro que es la de proveer apoyo de ingeniería en operaciones de combate como movilidad, contra movilidad y protección, y en la práctica convertirse también en arquitecto silencioso de soluciones para la población cuando el territorio lo exige

En la fase que testimonia el documento 2019 al 2021, la ocupación operativa combinó instrucción y adiestramiento como el armado de puentes Bailey y MGB, la planificación y control de operaciones que es el rol del S-3, y coordinación interinstitucional con municipalidades del entorno (Ite, Locumba) para obras que vinculan al Ejército con la vida cotidiana de la gente: mantenimiento de vías, instalación de viviendas prefabricadas para damnificados, limpieza y descolmatación de ríos, y perforación de pozos. Esa mezcla de tareas militares y de apoyo civil revela la identidad de esta plaza, que es la de un fuerte que proyecta

poder de combate, pero que también tiende la mano cuando el desierto y la escasez aprietan

El agua ha sido, desde siempre, el "otro frente" del Fuerte Arica. La propia ubicación desértica entre Tacna y Locumba condiciona un entorno de baja disponibilidad hídrica porque no hay ríos generosos ni napas superficiales estables; el viento levanta polvo y el sol exige previsión. En el periodo 2019 al 2021 de forma documentada por la unidad, el problema ya era evidente.

Es decir, al menos desde esa etapa reciente y por la propia naturaleza del desierto costero la carencia de agua no es un incidente puntual, sino una condición estructural que el fuerte ha debido gestionar con soluciones técnicas y disciplina logística.

Esa historia hídrica se siente no solo en los partes y reportes, sino en lo humano como guardias que racionan, mecánicos que cuidan cada sello para que la bomba no se detenga, ingenieros que hacen números para que el caudal alcance, cocinas que planifican, sanidad que prioriza. En un fuerte desértico, cada litro se vuelve bastante valioso; es por esto que podemos mencionar que el agua no llega sola; por lo que se busca, se trata, se bombea y se protege.

De esa convivencia con la escasez nacen tres lecciones que explican el carácter del Fuerte Arica:

El agua es parte del orden de operaciones; ya que en Locumba (Ite), planear una semana de instrucción o un ejercicio no es solo mover vehículos y munición; es asegurar abastecimiento hídrico para personal, cocina, mantenimiento y salud. Por eso la ingeniería de combate, además de instalar puentes y construir fortificaciones, debe aprender a abrir pozos, instala bombas y calcular caudales.

La cooperación civil con lo militar no es un slogan, es como una tubería real. Los convenios con las municipalidades y la coordinación con la comunidad han

sido el camino para mantener infraestructura de agua funcionando cuando la naturaleza no ayuda. La línea que lleva agua a una familia y a un pelotón es la misma; es por eso que cuidarla es tarea de todos

La resiliencia técnica depende de la disciplina. Perforar y bombear es el primer capítulo; mantener es el libro entero junto con los filtros, válvulas, sellos, tableros, paneles y resguardos. En un ambiente hostil, el mantenimiento preventivo es una forma de ética profesional por que garantiza que mañana también habrá agua.

Otro aspecto a considerar y preguntarnos es ¿porque el fuerte debe traer agua desde 24 km? porque el agua que se extrae en esa zona no tiene salitre

Si hubiera que resumir la creación y la ocupación de esta plaza en una imagen, sería la de un ingeniero que, casco en mano, observa el horizonte del desierto y decide construir; rutas, puentes, pozos, depósitos, hábitos. Fuerte Arica existe porque el Ejército eligió permanecer y servir en un lugar difícil; y el agua, casi como un emblema invisible, recuerda cada día, el por qué la ingeniería de combate es también ingeniería de vida.

2.2.3 Climatología y humedad atmosférica del entorno Fuerte Arica

1) Panorama general del clima; el área de Locumba–Ite se ubica en la franja costera e interior árida del sur peruano. El año se caracteriza por poca lluvia, cielos con nubosidad baja en madrugadas neblinas, garúas y alta radiación solar desde media mañana en adelante. Los veranos de enero a marzo, son templados, cálidos y áridos, mientras que los inviernos de junio a agosto, son frescos, secos y con mañanas grises por estratos bajos; el rango térmico típico anual va aproximadamente de 11 °C a 26 °C. Esta combinación de desierto costero más influencia oceánica explica el por qué; el agua superficial es escasa y el por qué la captación subterránea es vital para la plaza militar.

En las operaciones diarias, esto se traduce en madrugadas con cielo cubierto o neblina y tardes despejadas con nubes dispersas; es un patrón observado en los pronósticos oficiales locales. Para el abastecimiento y los ejercicios, convendría programar labores de bombeo fotovoltaico y mantenimiento fuera de las primeras horas de la mañana ósea cuando hay más humedad, nubosidad y así aprovechar los picos de irradiancia de mediodía a primeras horas de la tarde.

2) Temperatura y nubosidad siendo la máxima diaria entre 19 a 26 °C (pico en febrero) y la mínima entre 11 a 17 °C (piso invernal en julio a agosto). Son valores cómodos para la tropa, pero la sensación térmica cambia con el viento, la nubosidad baja y el punto de rocío.

En cuanto a la nubosidad la parte más despejada del año va de abril a inicios de noviembre es decir la máxima claridad en agosto; y la más nublada ocurre de noviembre a inicios de abril y un pico nublado en febrero. Este "techo bajo" matinal es típico de la costa sur por la corriente fría del Pacífico y favorece neblinas.

Siendo la implicación práctica una relación a más horas de cielo limpio en invierno permiten buen rendimiento de paneles solares pese a temperaturas más frescas; en verano, aunque hay más nubes bajas por la mañana, la disponibilidad de energía solar diaria sigue siendo alta para bombeo y carga.

3) Humedad atmosférica relativa, punto de rocío y "sensación de humedad"

a. La Humedad relativa (HR) mensual a nivel local, la humedad relativa media muestra un patrón de valores altos a inicios de año como verano austral, con más nubosidad baja y un mínimo invernal cuando domina el aire más seco en horas centrales, siendo los meses más húmedos (HR media) de enero 74 %, febrero 78 % y marzo 75 %; Transición al aire más seco de abril 68 %, y mayo 57 %.

Meses más secos de junio 51 %, julio 48 %, y agosto 47 %, luego realizando un retorno gradual de humedad de septiembre 51 %, octubre 55 %, noviembre 63 %, y diciembre 68 %.

Estos promedios encajan con evaluaciones hidrometeorológicas de la cuenca Locumba–Sama en la zona baja del valle costero e interior la HR media mensual suele moverse mayormente entre 69 % y 76 %, según época del año, con máximos invernales por la presencia de estratos bajos y enfriamiento nocturno.

Lectura operativa, madrugadas con HR alta favorecen neblina y rocío sobre equipos expuestos; al mediodía la HR cae y el ambiente se vuelve seco. Esto exige protocolos de secado para componentes eléctricos y rutinas de lubricación y anticorrosión en material sensible.

b. Punto de rocío; para la sensación de humedad importa el punto de rocío no solo la HR. En Locumba, el Td rara vez entra en rangos bochornosos; se mantiene en valores moderados que, combinados con brisas, dan una sensación térmica aceptable la mayor parte del año. La clave es el Td varía poco entre el día y la noche, por eso si amanece húmedo, tendrá a mantener algo de esa sensación hasta horas avanzadas, aun si la temperatura baja

2.2.4 estudio y cálculos del agua que se necesita.

Mediante estos cálculos determinaremos La demanda y cómo se podría abastecer el Fuerte Arica y suministrar agua para 2 500 personas ¿Cuánta agua necesitamos y que equipos? Para una población de 2 500 personas:

Aproximadamente una cantidad de 200 litros por persona al día; esto nos da un resultado de 500 000 litros al día aproximadamente (eso es 500 m^3/día). En 24 horas, esto equivale a unos 21 m^3 por hora (20,8 m^3/h) o, dicho de otra forma, a 5,8 litros por segundo repartidos a lo largo del día.

Realizando una imagen mental esta cantidad significan unos 50 camiones cisterna de 10 000 L cada uno cada día.

En cuanto al bombeo se tendrá presente esta acción ¿todo el día o solo con el sol? Para ahorrar y simplificar, proponemos bombear con energía solar y usar un tanque para "guardar" el agua del día; teniendo dos opciones:

Opción A; Bombear 8 horas durante el sol; la bomba trabaja a ritmo medio y llena el tanque. Para lo cual necesitamos que en esas 8 h suba 62,5 m³ por hora (17,4 L/s).

Opción B; Bombear 6 horas óseo menos tiempo, más rápido tiene que trabajar la bomba. En 6 h debe subir 83,3 m³ por hora (23,2 L/s). Las dos opciones entregan el mismo volumen diario (500 m³). La diferencia es qué tan rápido bombeamos y cuán gruesa conviene la tubería.

En cuanto al almacenaje del tanque; si bombearás 8 horas, el tanque debe cubrir las 16 horas restantes sin bombeo cuando la gente igual usa agua ósea en 16 h se consumirán 333 m³. también debemos sumar el 15 % de reserva por seguridad (383 m³) y debemos agregamos 100 m³ para incendios y emergencias.

Como recomendación se debe contar con tanque elevado de 500 m³. Con eso se tiene regulación diaria y un colchón ante imprevistos. Probablemente seria un pozo será de 40 m de profundidad, ya que no bastaría con un hoyo y una bomba; el agua hay que subirla desde el nivel donde se encuentra, llevarla hasta el tanque que está más alto y superar la fricción en las tuberías y equipos. En conjunto, todo eso equivale a empujar el agua como si subiera unos 60 metros de altura. Y se tendría en cuenta para la opción de 8 hrs. a un ritmo medio una tubería de 5" funcionaria bien.

Para la opción de 6 h mucho más caudal o si la línea es muy larga, conviene 6" para que el agua fluya sin forzar tanto. Diseño integral de agua para el Fuerte

Arica; Entregar 500 m³ de agua segura cada día usando un pozo tubular, bombeo solar y un tanque elevado que garantice servicio continuo las 24 horas.

En cuanto al pozo podría ser de profundidad 40 m con un diámetro de perforación de 12 pulgadas, permite buen ingreso del agua y de la bomba tubular, la tubería, rejilla y filtro de 8 pulgadas, con ranuras y grava filtrante alrededor de esta manera facilita que el agua entre limpia y sin arrastrar arena, así mismo el Tramo filtrante seria de 10 a 15 metros en la zona donde el suelo brinda mucha más agua.

Podría ser un cabezal del pozo con plataforma de concreto, tapa con candado y venteo para que no entre polvo, insectos ni vandalismo. Por qué así para mover 62 a 83 m³ por hora según el tiempo de bombeo. Por lo que usaremos bombeo diurno con el sol y un tanque que guarda el agua del día.

De igual forma realizando los cálculos el tamaño de la bomba sumergible estaría conformada por un motor de 18,5 a 22 kW, basándonos en experiencias y cálculos se debería contar con 02 bombas iguales ya que una trabajando y otra de respaldo lista para entrar; esto nos daría tranquilidad es decir si una falla, el otro trabaja y así no se corta el servicio. Y se recomendaría una Tubería principal del pozo al tanque de 5 pulgadas; y si la línea fuera muy larga cambiamos a 6 pulgadas para que el agua fluya sin forzar; por lo que *si alguna vez quisieras bombear solo 6 horas por día, la bomba tendría que ser un tamaño más grande de 25 a 30 kW y*

En cuanto a la energía se tendría que utilizar paneles solares y baterías que generen unos 134 kWh/día para que pueda bombear ante experiencias actuales el número de paneles solares de 550 Wp, necesitaríamos unos 73; Para poder tener una holgura ya sea por polvo, calor y auxiliares, propongo 80 paneles 44 kWp. Y podríamos contar con una opción de contingencia como es el grupo electrógeno de 30 a 40 kVA para eventos raros de varios días nublados.

En cuanto a la purificación de agua que contiene azufre mediante los antecedentes que se adjuntan podemos mencionar que esta actividad no es muy cara y el olor a huevo se quita en tres pasos simples como es:

La aireación que es hacer respirar el agua (torre, cascada, difusores). El H_2S se volatiliza y el olor se va. Es barato y reduce corrosión.

La oxidación suave se controla con un toque controlado de cloro u otro oxidante y termina de neutralizar lo que quede. Así mismo en la filtración y carbón activado estas últimas retienen partículas y olores residuales. Y si hubiese metales como Hierro y Manganeso. Se oxidan y se filtran; por ejemplo, con greensand o medios catalíticos. Es tecnología probada y accesible mediante antecedentes y casos similares.

Como por ejemplo en Antofagasta (Chile) se tuvo niveles elevados de arsénico en el agua durante décadas. La solución fue plantas de remoción de arsénico coagulación y filtración en sus inicios y, más tarde, grandes plantas modernas que entregan agua segura a escala urbana. Es un caso emblemático de control de metales en zona desértica.

En Bangladesh millones de personas expuestas a arsénico en pozos. Se desplegaron filtros domésticos como SONO que está conformado por hierro cero Valente más arena como solución de bajo costo; han sido estudiados y validados por la comunidad científica y organismos internacionales.

En EE. UU. Y Canadá comunidades con Fe/Mn/H_2S realizaron el uso extendido de greensand, oxidación y filtración para pozos municipales y privados; de igual forma contamos como experiencia local de este sistema en Tacna (La Yarada - Los Palos) de energía solar más tratamiento para agua con metales; sistema que combina paneles solares fotovoltaicos con tecnologías de remoción de arsénico en acuíferos. Ya que Moquegua cuenta con altísima radiación solar y comunidades que no siempre cuentan con red eléctrica estable. El estudio mostró que, al usar la energía solar para mover bombas y alimentar equipos de

tratamiento, se reduce drásticamente el costo operativo frente a diésel o electricidad convencional. Esto permite tratar volúmenes significativos de agua sin depender de camiones cisterna ni de tarifas eléctricas altas.

La lección principal es que se puede instalar un tren de tratamiento oxidación, coagulación, filtración u otras técnicas apropiadas y alimentarlo con fotovoltaico. Con un tanque elevado se garantiza continuidad del servicio, incluso cuando hay nubes o mantenimiento de paneles.

Como experiencia internacional en India (Bengala Occidental) se realiza la remoción de arsénico con energía solar donde las napas tienen arsénico en concentraciones peligrosas, se instaló un sistema autónomo que combina energía solar y un proceso compacto de remoción en línea. La secuencia está conformada por oxidación del arsénico, dosificación controlada de coagulante y filtración en unidades modulares. Todo es alimentado por paneles fotovoltaicos con baterías para asegurar el funcionamiento continuo.

Durante varios meses se monitoreó la calidad del agua y se comprobó que se podían cumplir las normas internacionales sin diésel ni red eléctrica. También se aprendió que la operación diaria es simple si los operadores comunitarios reciben capacitación básica esto consiste en preparar soluciones de coagulante, enjuagar filtros y llevar registros. Esto demuestra que, si tu pozo además de azufre tuviera arsénico, la lógica técnica y económica seguiría siendo la misma de usar el sol para bombear y tratar, con un tren compacto y capacitación local.

También tenemos una experiencia regional como bombeo solar directo en zonas aisladas y rurales de Arequipa donde se implementó un sistema de bombeo fotovoltaico en corriente continua para mover agua desde pozos hasta reservorios. No hay tratamiento sofisticado en este caso, pero sí una enseñanza clave que es: "el sol del sur peruano da de sobra para elevar caudales importantes sin red eléctrica". Con un tanque de almacenamiento de energía se puede abastecer todo el día, incluso en la tarde y noche, sin interrupciones.

El mantenimiento es muy básico en estos sistemas donde la limpieza de los paneles para evitar pérdidas de rendimiento, revisar conexiones y cuidar la bomba sumergible. Este "esqueleto" tecnológico de paneles, bomba, tanque ya que sobre esa base se pueden añadir módulos de tratamiento como filtros, desgasificación para sulfuros, intercambio iónico para metales, etc. según lo requiera la calidad del agua.

Experiencia en desierto costero (Chile–Atacama) tenemos la ósmosis inversa con solar en caletas pesqueras donde no hay fuentes de agua dulce, se instaló una planta de ósmosis inversa alimentada con paneles solares para dar agua segura a una caleta pesquera sin conexión a la red. Aunque allí el desafío era desalinizar agua de mar que viene a ser mucho más exigente que tratar agua subterránea, el caso es muy ilustrativo donde se demuestra que, incluso para procesos de membranas que son intensivos en energía, la radiación solar puede cubrir la demanda de bombeo y presión si se dimensiona bien el campo fotovoltaico y el sistema de acumulación. Esto enseña que, si la calidad del agua es difícil osea alto contenido de sales, metales, sulfuros, no hay que descartar tecnologías avanzadas. Con energía renovable y un tanque que actúe como pulmón, se puede asegurar un servicio diario confiable sin depender de combustibles fósiles. También se destaca la importancia del acompañamiento técnico inicial y de un plan de mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil de las membranas y bombas.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

"Propuesta de sistema autónomo de abastecimiento de agua con energía solar para el Fuerte Arica"

3.1 Campo de aplicación

Este trabajo tiene su inicio en la experiencia del autor cuando laboraba en el Batallón de Ingeniería de Combate Blindado N° 6 de la 6ª Brigada Blindada, asentado en el Fuerte Arica (Unidades de la 6ta Brig Blind, unidades del Agrupamiento Antitanque N° 03, Escuela de Blindados, 02 unidades de la 3ra Brig Blind, y familia de la Vila Militar). En un entorno desértico, donde cada recurso cuenta, la ingeniería militar no solo construye puentes y fortificaciones si no también asegura el agua para la vida cotidiana del personal y, por extensión, para la población circundante

3.2 Tipo de aplicación

Se trata de una propuesta operativa y social para transformar el abastecimiento hídrico del Fuerte Arica. La meta es dar un salto de autonomía y pasar de depender de un pozo distante y energía convencional a tener una fuente propia en el fuerte, movida por energía renovable, con un tanque elevado que actúe como reserva y estabilizador del servicio

3.3 Diagnóstico de la situación actual

Hoy, el Fuerte Arica (Unidades de la 6ta Brig Blind, unidades del Agrupamiento Antitanque N° 03, Escuela de Blindados, 02 unidades de la 3ra Brig Blind, y familia de la Vila Militar) se abastecen de agua conducida por tubería desde un pozo situado a 24 km. Esta agua es apta para el consumo, pero su

traslado implica costos de operación y dependencia de infraestructura extendida y de energía tradicional para el bombeo

En términos humanos, esto significa que cada litro recorre un largo camino antes de llegar al grifo; técnicos que vigilan válvulas a kilómetros de distancia, brigadas que revisan sellos y filtros en estaciones alejadas, y un gasto permanente en energía que no se recupera. Aunque la ingeniería de combate ha demostrado disciplina y eficacia para sostener este sistema, el riesgo y el costo son altos; cualquier falla en la línea afecta de inmediato al fuerte y a la comunidad, así mismo la falta de agua hace que muchas de sus actividades se posterguen y no se cuente con áreas verdes.

3.4 Propuesta de innovación

Frente a este escenario, la solución planteada es dar un giro en la lógica del abastecimiento y se propone realizar un sistema de abastecimiento de agua moderno que contaría con:

Hacer un pozo tubular dentro del propio Fuerte Arica

Hoy el agua que llega al Fuerte Arica recorre 24 kilómetros de tuberías desde un pozo distante. Aunque es apta para consumo, esta distancia genera vulnerabilidad y costos permanentes. La idea de un pozo tubular en el propio fuerte responde a un principio sencillo; el de "acercar la fuente a la necesidad".

Un pozo tubular no es solo un hueco en el suelo; es un punto de acceso seguro y controlado al acuífero. Perforarlo dentro del fuerte permitiría que el personal tenga la fuente bajo su vigilancia directa, sin depender de terceros ni de largas líneas de conducción. Esto significa reducir el tiempo y el riesgo de interrupciones; cualquier mantenimiento se haría en el mismo predio militar, sin traslados ni coordinación con operadores externos.

Para que esta idea sea tangible, se puede pensar en un pozo de 8 pulgadas de

diámetro y 40 metros de profundidad, dimensiones habituales para captar acuíferos costeros. Con estas características, y con un caudal estimado de 15 litros por segundo (unos 1 300 metros cúbicos al día), se cubriría holgadamente el consumo de unas 2 500 personas (el fuerte más la población de apoyo) y se tendría margen para riego de áreas verdes, cocina y limpieza de instalaciones. Dicho de otro modo, en un solo día de bombeo llenaría el equivalente a 26 cisternas de 50 m^3.

El pozo estaría encamisado para proteger las paredes y equipado con filtros para impedir el ingreso de arena. Sobre él, una caseta de control cerrada aseguraría que solo personal autorizado manipule las válvulas. Esto no son tecnicismos complejos; es simplemente orden para el recurso. En la práctica, el fuerte dejaría de depender de una línea externa para convertirse en gestor autónomo de su agua, con personal formado para revisar y mantener su propia captación. En términos humanos, significa menos estrés logístico para los oficiales que planifican el agua en los ejercicios, menos incertidumbre para la tropa y más confianza en que el agua estará allí cuando se necesite, sin importar imprevistos en la línea externa.

Tacna es sinónimo de sol. En Locumba e Ite, la radiación solar media anual supera los 5 kWh/m^2/día, lo que convierte a esta región en un lugar ideal para el aprovechamiento de la energía solar. Ese sol, que hoy castiga y exige previsión, puede convertirse en aliado. La propuesta es usar energía solar fotovoltaica para alimentar las bombas que extraerán el agua del pozo tubular. Esto tiene varias ventajas.

La primera es económica ya que la inversión inicial en paneles se compensa con un ahorro continuo en combustible y electricidad. Si se necesita mover 15 litros por segundo a 40 metros de profundidad, con eficiencia normal se requeriría del orden de 35 a 40 kW de potencia eléctrica. Con la radiación de Tacna, eso se traduce en un campo de unos 200 paneles fotovoltaicos de 200 W cada uno, ocupando apenas 500–600 m^2, menos de la mitad de una cancha de fútbol. En

términos cotidianos, el sol de un solo día bastaría para mover toda el agua que necesita el fuerte durante esa jornada.

La segunda ventaja es operativa ya que elimina la dependencia de la red y de la logística de diésel, reduciendo riesgos de interrupción por fallas externas. No habrá que esperar camiones cisterna ni coordinar con la empresa eléctrica; el propio sol local es la "gasolinera" del sistema. La tercera es ambiental y simbólica, un fuerte que se abastece con su propio sol proyecta una imagen moderna y responsable, acorde con las tendencias de sostenibilidad en instituciones públicas. En lo práctico, el sol impulsa el bombeo durante el día y, en lugar de acumular electricidad en costosas baterías, se acumula agua en el tanque. Esta batería de agua es simple y confiable. El personal del fuerte no tendrá que aprender sobre complejos inversores y bancos de baterías, solo seguir rutinas básicas de limpieza de paneles y verificación de conexiones, tareas fáciles de integrar en la disciplina diaria de la unidad. Con un manual sencillo, bastaría con pasar un paño húmedo a los paneles una vez por semana y revisar que las conexiones estén firmes para mantener la producción al 100 %.

El tercer elemento es un tanque elevado, coloquialmente llamado "pozo aéreo". Su función es tan simple como vital, ser el pulmón del sistema. Durante las horas de sol, las bombas fotovoltaicas llenan el tanque; en la tarde, la noche y los picos de consumo, el agua baja por gravedad hacia los puntos de uso. Este esquema transforma la forma en que se vive el agua en el fuerte. Hoy, cada litro depende del bombeo continuo desde lejos. Con un tanque elevado propio, el fuerte tendrá una reserva que asegura suministro estable las 24 horas, incluso si hay nubes, mantenimiento de las bombas o imprevistos. Es tranquilidad para la cocina, sanidad y los ejercicios; es previsibilidad para planificar raciones, limpieza y entrenamiento.

Para dimensionarlo, se puede pensar en un tanque de 500 m^3 (quinientos mil litros), equivalente a diez cisternas grandes, instalado a unos 12 metros de altura para generar suficiente presión por gravedad. Esa altura es parecida a un edificio

de cuatro pisos: vista desde lejos, sería el "faro" del agua del fuerte. Con esa capacidad se puede almacenar todo el consumo diario y tener un colchón para emergencias. La estructura incluiría escaleras y barandas para inspección segura, un sistema de rebose y drenaje, y un pequeño tablero de control para medir niveles. Todo explicado y etiquetado de forma sencilla para que cualquier operador del fuerte lo entienda. Que El "pozo aéreo" también es un símbolo visible. Mientras el pozo tubular está oculto bajo tierra, el tanque elevado se ve desde lejos, como un faro de autosuficiencia hídrica. Para la tropa y la comunidad, es la prueba de que se ha dado un paso más allá del discurso, la autosuficiencia se construye, se ve y se toca. La imagen de un tanque pintado con los colores de la unidad, con su nombre, reforzaría ese orgullo.

El cuarto componente asegura que el agua no solo llegue, sino que llegue bien. En las zonas de Tacna es frecuente que las aguas subterráneas contengan azufre (lo responsable al olor a "huevo") y metales como hierro o manganeso. Sin tratamiento, el agua puede ser segura desde el punto de vista bacteriológico pero desagradable al gusto, o puede manchar tuberías y afectar equipos.

La propuesta es implementar una purificación sencilla y apropiada dentro del fuerte, ajustada a la calidad real del agua. Para el azufre, técnicas de aireación y oxidación permiten que el gas se libere y luego sea filtrado. Esto puede hacerse con una pequeña torre de aireación de 3 a 4 metros de altura donde el agua "cae" y se ventila, liberando los gases. Para los metales, filtros de arena y carbón de alto caudal capturan las partículas y mejoran sabor y color. Con un sistema de dos o tres filtros en paralelo, cada uno de 1.5 metros de diámetro, se puede tratar sin problema los 500 m^3 diarios que demanda el fuerte.

Si análisis posteriores detectan arsénico u otros metales críticos, se puede añadir un paso de adsorción con medios específicos, sin necesidad de tecnologías complejas salvo que la calidad lo exija. Es decir, primero se monta un tren simple y ampliable, y solo si el agua lo requiere se incorpora un módulo adicional. Lo importante es que el sistema sea mantenible por el propio personal. No se trata de

montar una planta complicada con membranas y desechos químicos difíciles de manejar, sino de elegir procesos robustos, con rutinas claras y enjuagues periódicos, dosificación controlada, registros sencillos. Como, por ejemplo, con una dosificación semanal de hipoclorito (un bidón de 50 litros para todo el sistema) se asegura la desinfección continua. De este modo, la purificación se convierte en un hábito más de la vida diaria del fuerte, igual que revisar vehículos o limpiar armas, y asegura que cada vaso de agua sea agradable y seguro.

Este cuarto componente es clave para cerrar el círculo de captar cerca, bombear con sol, almacenar con holgura y entregar agua limpia, sin olor ni sabor metálico. Es la diferencia entre tener agua y tener agua de calidad.

3.4.1 Objetivo de la propuesta

El objetivo central de esta propuesta es asegurar un abastecimiento continuo, seguro y autónomo de agua para el Fuerte Arica y su entorno inmediato, garantizando que cada soldado, trabajador civil y familia que depende de esta instalación pueda acceder diariamente a un recurso tan vital como el agua sin la incertidumbre que hoy implica traerla desde 24 kilómetros de distancia.

En términos sencillos, se busca romper la dependencia de un sistema lejano y costoso, para transformarlo en una infraestructura propia, cercana y resiliente. La meta no es solo técnica de un pozo más, unos paneles más; sino profundamente humana; ofrecer tranquilidad y dignidad hídrica a quienes sostienen con su esfuerzo la vida y las operaciones del fuerte. Significa que la cocina podrá planificar sus menús sin temor a interrupciones, que la sanidad tendrá agua de calidad para sus atenciones, que la tropa podrá entrenar, higienizarse y descansar sabiendo que el recurso está asegurado, y que incluso la comunidad cercana se beneficiará de una gestión responsable y sostenible del acuífero. Para lograrlo, el proyecto articula cuatro componentes complementarios como:

- La instalación de un pozo tubular dentro del propio Fuerte Arica, que acerque la fuente de agua al punto de consumo y reduzca la vulnerabilidad del sistema actual.
- El bombeo con energía renovable, principalmente solar fotovoltaica, aprovechando el enorme potencial solar de la zona para sustituir combustibles fósiles por un recurso gratuito, limpio y abundante.
- La construcción de un tanque elevado como pulmón diario del sistema, que permita almacenar el agua bombeada durante las horas de sol y distribuirla de manera estable las 24 horas, incluso ante imprevistos o mantenimientos.
- Y el sistema que complementa tratamiento del agua que purifica y limpia del azufre y otros metales.

Este objetivo está orientado a construir no solo infraestructura sino también capacidad interna. Con un sistema propio y renovable, el fuerte podrá formar a su personal en tareas sencillas de operación y mantenimiento como limpiar paneles, revisar válvulas, dosificar cloro, registrar niveles. Son rutinas compatibles con la disciplina militar y que empoderan a la unidad como gestora autónoma de su recurso más estratégico.

En definitiva, el objetivo de la propuesta es convertir al Fuerte Arica en un ejemplo de autosuficiencia y sostenibilidad en zonas áridas, donde el agua se obtiene con respeto al acuífero, se mueve con el sol, se almacena con previsión y se entrega con calidad. Es un paso concreto para que la institución no solo se adapte a la escasez hídrica, sino que la transforme en oportunidad de innovación y orgullo para su gente y para la región.

3.4.2 Descripción desarrollada de la propuesta

En vez de que el agua viaje 24 km hasta nosotros, vamos nosotros al agua. **Un pozo tubular en el interior del Fuerte Arica** significa tener la fuente al alcance de la mano. Esto no es solo un cambio logístico; sin duda es un cambio de paradigma. Hoy, cada litro que bebemos ha recorrido kilómetros de tuberías, ha pasado por

válvulas y estaciones lejanas, y depende de energía convencional para llegar hasta el grifo. Con un pozo propio, ese camino se acorta y se vuelve controlable.

El pozo tubular sería un punto de acceso seguro y vigilado al acuífero local. En lenguaje sencillo, es abrir una ventana al agua subterránea que corre bajo nuestros pies. Para hacerlo realidad se puede pensar en un pozo de 8 pulgadas de diámetro y 40 metros de profundidad, encamisado y con filtros para retener arena. Con un caudal estimado de 15 litros por segundo lo suficiente para 1 300 m^3 diarios lo cual se cubriría con holgura el consumo del fuerte y se tendría margen para áreas verdes, cocina y limpieza.

Lo importante no son las cifras técnicas sino lo que significan. Con ese caudal se podrían llenar cada día 26 cisternas de 50 m^3, es decir, el agua necesaria para abastecer no solo a la tropa sino también a las dependencias críticas sin apuros. Tener la captación en el propio terreno permite que cualquier mantenimiento sea rápido, sin traslados de personal ni coordinación con operadores externos. Es decir, el agua se vuelve un activo propio, bajo control y supervisión directa.

Además, la perforación en el propio fuerte es un símbolo de autonomía. Deja de ser un consumidor dependiente para convertirse en gestor de su recurso más crítico. Para los oficiales significa menos estrés logístico al planificar ejercicios; para la tropa significa certeza de agua para bañarse después de entrenar, cocinar, asearse y vivir dignamente; para la institución significa un paso adelante en seguridad hídrica, y la posibilidad de contar con áreas verdes.

También podemos mencionar que la zona de Locumba e Ite goza de alta radiación solar durante casi todo el año; más de 5 kWh/m^2/día. Aprovechar este sol no es solo un gesto ambiental; es un ahorro real y una garantía de independencia energética. La propuesta es usar paneles fotovoltaicos para alimentar las bombas que extraerán el agua del pozo tubular. Con números simples para elevar 15 litros por segundo desde 40 metros de profundidad se requiere del orden de 35 a 40 kW de potencia. Esto se traduce en unos 200 paneles fotovoltaicos

de 200 W cada uno, ocupando 500 a 600 m² de superficie plana (menos de media cancha de fútbol). Ese campo solar se puede instalar dentro del propio fuerte, de manera cercada y cuidado por el personal. Durante las horas de sol, la energía alimenta directamente las bombas tubulares y el agua se eleva al tanque.

La clave de este sistema está en guardar agua en lugar de electricidad; en vez de costosos bancos de baterías, se acumula agua en el tanque elevado durante el día y se distribuye cuando se necesita. Esto simplifica la operación, baja costos y reduce riesgos. El personal del fuerte no tendrá que convertirse en experto en inversores ni en química de baterías; bastará con rutinas básicas como limpiar los paneles una vez por semana y revisar conexiones, tareas fáciles de integrar a la disciplina diaria de la unidad.

En términos humanos, pasar a bombeo solar significa liberarse del diésel y de la red eléctrica. No habrá que estar pendientes de abastecer combustible ni de cortes de energía. El sol local es la gasolinera del sistema y está abierto todos los días. Además, proyecta una imagen moderna de un fuerte que se abastece con su propio sol muestra liderazgo y compromiso con la sostenibilidad, algo cada vez más valorado en las instituciones públicas.

El pozo aéreo es, en realidad, un tanque elevado que funciona como pulmón del sistema. Durante las horas de sol, el agua sube al tanque; en la tarde, noche o en momentos de alta demanda, baja por gravedad hacia los puntos de consumo. Esto permite continuidad, aunque el sol se oculte y facilita hacer mantenimiento a las bombas sin interrumpir el servicio.

Para dimensionarlo se puede pensar en un tanque de 500 m³ osea quinientos mil litros, instalado a unos 12 metros de altura para generar presión por gravedad. Esa altura equivale a un edificio de cuatro pisos. Con esa capacidad se puede almacenar todo el consumo diario y tener un colchón para emergencias, de modo que, si un día hay nubes o falla una bomba, la tropa no lo notará porque el agua seguirá fluyendo.

El tanque incluiría rebose y drenaje, escaleras y barandas para inspección segura, un sistema sencillo para medir niveles y un espacio para rotularlo con los colores de la unidad. Esto no es un mero detalle estético; ver el tanque elevado, pintado con el nombre del fuerte, refuerza el orgullo de autosuficiencia. Para la tropa y la comunidad es la prueba de que se ha dado un paso más allá del discurso y la autosuficiencia se construye, se ve y se toca.

En términos cotidianos, tener un pozo elevado es como tener un gran termo de agua listo para usar. Permite planificar la cocina, la sanidad y las actividades sin temor a cortes. Si se necesita limpiar filtros, revisar bombas o hacer mejoras, se puede hacer con calma porque el tanque garantiza continuidad. Es la diferencia entre vivir al día con un hilo de agua y tener una reserva estable que da tranquilidad y flexibilidad a toda la operación.

Los Beneficios humanos y operativos de Esta combinación de pozo propio más bombeo solar, más tanque elevado y tratamiento del agua trae beneficios concretos como:

a. **Autonomía:**

La autonomía del fuerte no se reduce únicamente a un concepto técnico; es, sobre todo, una cuestión de seguridad y confianza para las personas que allí viven y trabajan. Cuando un establecimiento depende de una sola línea de abastecimiento o de un sistema de bombeo distante, queda expuesto a cortes, retrasos y vulnerabilidades que pueden comprometer su operatividad en momentos críticos. En cambio, contar con su propia fuente y con medios propios para extraer, almacenar y distribuir el agua convierte al fuerte en un espacio autosuficiente, capaz de seguir funcionando aun si las redes externas fallan. Esta autonomía libera al personal de la ansiedad por posibles interrupciones y les permite planificar con certeza sus actividades diarias, entrenamientos y operativos. También representa un aprendizaje institucional; la autosuficiencia es parte del

ethos militar, que valora la capacidad de cada unidad para sostenerse y protegerse.

En términos prácticos, significa que los ajustes o mejoras se pueden decidir y ejecutar localmente, sin depender de trámites prolongados ni autorizaciones externas para algo tan básico como el agua. Para los soldados y técnicos, ver que el lugar donde sirven es capaz de sostenerse por sí mismo refuerza el sentido de pertenencia y orgullo, y proyecta una imagen de modernidad y eficiencia ante la comunidad.

b. **Economía:**

La economía de un sistema propio no solo se mide en soles ahorrados, sino también en horas-hombre, en desgaste de infraestructura y en tranquilidad administrativa. Mantener largas conducciones de agua, bombear desde distancias de decenas de kilómetros y pagar energía convencional para ese transporte es costoso, tanto para el presupuesto como para el ambiente. Un pozo tubular dentro del fuerte, alimentado por energía solar, cambia completamente la ecuación; la energía del sol es gratuita y el trayecto del agua es corto, por lo que se reducen las pérdidas, las fugas y los costos de mantenimiento. Con menos tuberías expuestas, disminuyen los riesgos de roturas y vandalismo, y las reparaciones son más sencillas y baratas. Esta economía se vuelve sostenible en el tiempo, porque no depende de subsidios ni de contratos externos, sino de un recurso renovable y de personal propio entrenado para operarlo. Además, el dinero que ya no se gasta en energía y mantenimiento se puede redirigir a mejorar otros servicios para el personal del fuerte, desde alimentación y salud hasta capacitación técnica. Así, la inversión inicial en autonomía se transforma en un círculo virtuoso de ahorro y mejora continua, donde cada sol invertido retorna multiplicado en bienestar y eficiencia operativa.

c. **Rapidez de respuesta:**

En un contexto militar, donde la capacidad de reacción puede ser la diferencia entre la continuidad y la interrupción de las operaciones, tener el control directo del sistema hídrico es una ventaja estratégica. Cuando el agua proviene de un sistema lejano, cualquier desperfecto obliga ha enviar personal, herramientas y repuestos a lo largo de kilómetros, con demoras inevitables y costos añadidos. En cambio, si el pozo, las bombas y el tanque elevado están dentro del fuerte, cualquier ajuste, reparación o mejora se hace en el acto. Los técnicos conocen el sistema porque lo operan diariamente, y pueden detectar y resolver problemas antes de que se conviertan en emergencias. Esto significa que no hay que suspender actividades ni improvisar soluciones temporales con cisternas externas. La rapidez de respuesta también fortalece la moral del personal; saber que los servicios básicos están asegurados y que cualquier falla se atenderá de inmediato genera confianza y estabilidad. Incluso en situaciones de emergencia o desastres naturales, el fuerte puede seguir operando sin depender de la logística externa, convirtiéndose en un punto de apoyo para la comunidad circundante. Esta agilidad no es solo técnica, es también emocional; transmite a todos la sensación de que están en un lugar bien planificado y cuidado, donde se prioriza su bienestar.

d. **Orgullo institucional:**

Cada vez que la ingeniería militar desarrolla e implementa soluciones innovadoras para mejorar la vida dentro de sus instalaciones, está enviando un mensaje potente; como puede ser "nos importan las personas que sirven aquí". El orgullo institucional no nace de los discursos, sino de las acciones concretas que demuestran compromiso y visión. Un sistema de agua autónomo y alimentado por energías renovables es, a la vez, un símbolo y una herramienta.

Es símbolo porque muestra que la institución no se conforma con lo tradicional, sino que adopta tecnologías modernas para ser más eficiente y

sostenible. Y es herramienta porque mejora de forma directa la calidad de vida de quienes la integran y de la comunidad que la rodea. Este tipo de proyectos también refuerza la imagen del Ejército como actor social positive, no solo defiende y entrena, sino que innova para cuidar recursos y proteger el medio ambiente. Cuando los propios soldados ven que su lugar de trabajo está a la vanguardia, sienten orgullo y motivación; y cuando la ciudadanía observa estos avances, aumenta su respeto y confianza. Así, la innovación en sistemas básicos como el agua se convierte en un puente entre la institución y la sociedad, alimentando un ciclo de reconocimiento, pertenencia y prestigio.

e**. Continuidad.**

Tener agua continua y de calidad no es un lujo; es la base para la salud, la higiene y el funcionamiento diario de cualquier instalación, y mucho más en un fuerte militar. En el caso del Fuerte Arica, contar con su propio pozo tubular y un sistema de bombeo y almacenamiento interno significa que el suministro ya no depende de redes externas sujetas a cortes, mantenimientos o problemas técnicos. Esto garantiza que el personal pueda cocinar, asearse, limpiar y operar en condiciones seguras y dignas todos los días del año. La calidad del agua también mejora, porque se controla desde la Fuente; los técnicos pueden monitorear parámetros como el contenido de minerales, bacterias o metales, y aplicar tratamientos adecuados antes de distribuirla. Todo esto se traduce en menos enfermedades gastrointestinales, menos riesgos en la preparación de alimentos y más confianza en el agua que se consume.

La seguridad hídrica es, en definitiva, seguridad operativa; cuando los soldados conocen que el recurso básico está garantizado, pueden concentrarse en sus tareas con tranquilidad. Esta continuidad también es un mensaje para sus familias y para la comunidad; demuestra que la institución se preocupa de verdad por el bienestar de su gente, invirtiendo en soluciones que les den estabilidad y salud.

f. **Responsabilidad social**

Uno de los principales de gastos ocultos de traer agua desde lejos es la energía que se consume en bombearla y transportarla. En zonas áridas, donde las distancias son grandes y las temperaturas elevadas, ese gasto se dispara. Al instalar un sistema renovable, como paneles solares para alimentar las bombas del pozo, el Fuerte Arica rompe con esa dependencia de combustibles fósiles, y se da paso a las energías renovables, en consecuencia contribuimos con la **responsabilidad social**. La energía solar es gratuita, abundante y limpia; su único costo real es la inversión inicial y el mantenimiento periódico de los paneles. Esto significa que, a lo largo de los años, los gastos del fuerte en electricidad para el agua se reducen drásticamente. Ese ahorro puede destinarse a mejorar otras áreas como la de alimentación, equipos de protección, capacitación del personal o infraestructura. Además, al disminuir la huella de carbono, la institución demuestra compromiso con el medio ambiente y con las políticas nacionales e internacionales de sostenibilidad.

Para los soldados y técnicos, trabajar en un lugar que aprovecha energías renovables es también una fuente de aprendizaje y orgullo; ya que ven de primera mano cómo la tecnología moderna puede servir a la vida cotidiana y al mismo tiempo cuidar el planeta.

g. **Resiliencia frente a emergencias:**

En emergencias ya sean desastres naturales, conflictos, crisis energéticas o interrupciones de redes, la autonomía hídrica del Fuerte Arica se convierte en un salvavidas. Tener su propia fuente significa que, aunque se interrumpan las líneas externas, el fuerte sigue teniendo agua. Y tener su propia reserva en tanques elevados o cisternas garantiza que incluso si falla momentáneamente el bombeo, hay un colchón disponible para seguir operando sin interrupción. Esta resiliencia no es solo técnica, es también psicológica; ya en medio de una emergencia, saber

que el recurso más básico está asegurado da calma y estabilidad al personal, lo que les permite actuar con más eficacia.

El fuerte puede incluso convertirse en un punto de apoyo para la comunidad vecina, proporcionando agua o asistencia en momentos críticos. Esta capacidad de sostenerse y ayudar en crisis fortalece la imagen del Ejército como institución preparada y solidaria, no solo para defender sino para servir. También se convierte en un espacio de entrenamiento real y así los soldados aprenden cómo gestionar recursos en escenarios adversos, desarrollando habilidades que luego pueden aplicar en misiones humanitarias o en otros destinos.

h. **Ejemplo replicable:**

El proyecto del Fuerte Arica no solo beneficia a quienes trabajan y viven allí; también se convierte en un laboratorio y un modelo para otras unidades y comunidades. Demuestra que es posible y rentable instalar sistemas autónomos y renovables de agua en lugares donde antes se dependía de largas conducciones y energía cara. Este ejemplo puede inspirar ha otras bases militares en zonas desérticas o de difícil acceso, y también a pueblos y asentamientos civiles que sufren problemas similares. La replicabilidad es una de las mayores virtudes de este tipo de iniciativas y con las lecciones aprendidas en Arica, se pueden diseñar manuales, capacitaciones y protocolos para que otros implementen su propio sistema, adaptado a sus condiciones locales.

Además, la experiencia refuerza el rol del Ejército como impulsor de desarrollo y tecnología, mostrando que la institución no solo consume recursos, sino que innova y comparte soluciones con la sociedad. En términos prácticos, replicar significa también mejorar; y cada nuevo proyecto puede incorporar ajustes y optimizaciones basados en la experiencia previa, creando una red de instalaciones resilientes, sostenibles y orgullosas de su autosuficiencia hídrica.

En palabras simples, la propuesta busca que el Fuerte Arica pase de vivir pendiente del agua que viene de lejos a tener su propia agua, extraída de manera

responsable y recirculada por el sol. Significa independencia, seguridad y sostenibilidad en un contexto donde el agua más que un recurso; es parte del orden de operaciones, de la vida diaria y de la identidad de la unidad.

CONCLUSIONES

1. La propuesta de instalar un pozo tubular, bombeo solar y un tanque elevado dentro del Fuerte Arica significa pasar de la dependencia a la autogestión, a la autonomía del recurso hídrico. Ya no se dependería de 24 km de tuberías ni de operadores externos para algo tan básico como el agua. Esta autonomía no solo es un logro técnico, sino un paso hacia la seguridad operativa y el bienestar humano de quienes viven y trabajan en el fuerte. Cada soldado, cada técnico y cada familia que habita la villa militar ganará en certeza y tranquilidad, sabiendo que el agua está bajo su propio control y cuidado

2. Ahorro económico sostenido y uso inteligente de recursos; es decir que el sistema propuesto no es un gasto, sino una inversión que se paga sola con el tiempo. La energía solar sustituye el costo continuo de electricidad y diésel, y el trayecto más corto del agua reduce fugas, roturas y mantenimiento. Esto libera presupuesto y horas-hombre para otros servicios esenciales como el de alimentación, salud, capacitación, infraestructura. En términos sencillos, cada sol que no se gasta en traer agua desde lejos se convierte en mejores condiciones de vida y trabajo para el personal del fuerte

.3. Resiliencia y rapidez de respuesta en situaciones críticas ya que, con la infraestructura propia, cualquier mantenimiento, reparación o ajuste se hace en el acto, dentro del fuerte. Se acaba la dependencia de brigadas que viajen kilómetros para arreglar una bomba o una válvula. Esto significa que incluso ante fallas, nubes o emergencias externas, el fuerte podrá seguir funcionando con normalidad, garantizando agua para la tropa, la cocina, la sanidad y, si es necesario, para apoyar a la comunidad circundante en momentos de crisis

.

4. Agua continua y de calidad para la vida diaria, por lo que el sistema no solo traerá agua de más cerca y más barata, sino también más limpia y segura. El tratamiento propuesto que consta de aireación, oxidación y filtración eliminará el olor a azufre y los metales indeseables, mejorando sabor, color y seguridad sanitaria. Esto reducirá enfermedades gastrointestinales, protegerá tuberías y equipos y elevará la calidad de vida. Tener agua continua y de calidad no es un lujo; es la base de la salud, la higiene y el funcionamiento diario del fuerte

5. Orgullo institucional y ejemplo replicable, ya que es un sistema de agua autónomo, alimentado con energía renovable, es también un símbolo de innovación y compromiso. Demuestra que la ingeniería militar no solo construye puentes y fortificaciones, sino que cuida de su gente y del medio ambiente. Este proyecto convertiría al Fuerte Arica en un referente para otras unidades militares y comunidades de zonas áridas, mostrando que la autosuficiencia y la sostenibilidad son posibles con planificación y disciplina

RECOMENDACIONES

1. Formalizar un plan de gestión y mantenimiento interno, no basta con construir el sistema; hay que cuidarlo. Se recomienda crear un plan detallado de operación y mantenimiento, con rutinas semanales y mensuales para limpieza de paneles, revisión de válvulas, dosificación de cloro y registro de niveles. Esto puede integrarse en la disciplina diaria del personal del fuerte, asignando responsabilidades claras y capacitando operadores para asegurar la continuidad del servicio.

2. Establecer monitoreo y control de calidad del agua; es decir el pozo tubular debe incluir un programa de análisis periódico de la calidad del agua como parámetros físicos, químicos y microbiológicos para ajustar los tratamientos según sea necesario. Esto permite anticipar problemas como intrusión salina o presencia de metales y actuar a tiempo, garantizando siempre agua segura y agradable para el consumo humano.

3. Documentar y compartir la experiencia como modelo, por medio del cual se recomienda sistematizar el proceso diagnóstico, diseño, construcción y operación en un manual o informe institucional. Esto facilitará replicar el modelo en otras plazas militares y en comunidades rurales de zonas áridas, posicionando al Fuerte Arica como ejemplo de innovación y sostenibilidad hídrica en el Ejército.

4. Asegurar un fondo de reinversión para mejoras futuras; con el ahorro generado por dejar de pagar energía y mantenimiento externo puede destinarse a un fondo para ampliar o mejorar el sistema en el futuro como, por ejemplo, instalar un segundo tanque, ampliar el campo solar o añadir módulos de tratamiento para contaminantes específicos. Esto convierte al proyecto en un círculo virtuoso de autosuficiencia y mejora continua.

5. Involucrar a la comunidad y fortalecer el vínculo civil-militar ya que el agua es un recurso compartido. Se recomienda explorar convenios con las

municipalidades y comunidades cercanas para coordinar usos del acuífero, mantenimiento de infraestructura y, si es posible, extender beneficios del sistema como, por ejemplo, apoyo en emergencias o suministro para proyectos sociales. Esto refuerza el rol del Ejército como actor solidario y confiable, alineado con su misión constitucional y con los valores de servicio al país.

6. Mantener una visión de largo plazo y sostenibilidad ambiental ya que, se recomienda no ver este proyecto como un hecho aislado, sino como parte de una estrategia más amplia de adaptación al cambio climático y gestión responsable del agua en zonas áridas. Esto implica respetar los límites del acuífero, evitar la sobreexplotación, promover la recarga artificial cuando sea posible y alinear la operación del sistema con las políticas ambientales nacionales.

BIBLIOGRAFIA

Ashraf, U. (2021). *Design, optimization and analysis of a solar water pumping system* (Master's thesis). Memorial University of Newfoundland.

Jahanfar, A. (2023). *Dynamic modeling and simulation of solar water pumping with hybrid storage system*. ResearchGate preprint/article.

Moreno Zavala, G. A., Monroy Estrella, A., & Escobar Martínez, E. (2023). *Diseño de estación de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica para comunidades de bajos recursos y/o alto consumo energético* (Trabajo de titulación). Tecnológico Nacional de México (TecNM). Repositorio Institucional TecNM.

Barrios Toro, P. A. (2022). *Gobernanza del agua potable de la ciudad de Antofagasta mediante modelación DPSIR* (Memoria para optar al Título de Geógrafo). Universidad de Chile. Repositorio UChile.

Campos Zamata, P. R. (2024). *Propuesta de medidas de sostenibilidad para un acuífero sobreexplotado: Caso acuífero Caplina, Tacna, Perú – 2024* (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG). Repositorio UNJBG.

Torres Sánchez, Y. L. (2024). *Diseño de un sistema de bombeo de agua con energía fotovoltaica para riego agrícola de cacao en Bagua Grande, Utcubamba* (Tesis de título profesional, Ingeniería Mecánica). Universidad Continental. Repositorio UC & ALICIA/Concytec.

Agurto Maceda, M. E. (2021). *Mejoramiento y ampliación del sistema de abastecimiento de agua potable…* (Tesis). Universidad Nacional de Tumbes (UNTumbes). Repositorio UNTumbes.

Calcine Ayala, P. R., & Catalán Ovalle, J. (2024). *Remoción de hierro de las aguas subterráneas del centro poblado El Triunfo, Madre de Dios, usando cáscara de plátano* (Tesis de Ingeniería Química). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). Repositorio UNSAAC.

Anexo A

1. DATOS PERSONALES

1.01	Apellidos y Nombres	LLERENA DELGADO YEREMY
1.02	Grado y Arma/Servicio	MY ING
1.03	Situación Militar	RETIRO
1.04	CIP	120048800
1.05	DNI	29665624
1.06	Celular	930390431 WHATSAP 920744560
1.07	Correo Electrónico	lleredelgayeye@gmail.com

2. ESTUDIO EN LA ESCUELA MILITAR DE CHORRILLOS

2.01	Fecha Ingreso de la EMCH	02 setiembre de 1995
2.02	Fecha Egreso EMCH	01 de enero del 2000
2.03	Fecha Alta de la EMCH	
2.04	Años de Experiencia como Oficial	26 años 11 meses 29 días
2.05	Idiomas	Español - Ingles

3. SERVICIOS PRESTADOS EN EL EJÉRCITO

N°	Año	Lugar	Unidad / Dependencia	Puesto Desempeñado
1	2000	LIMA- CHORRILLOS	ESC. ING. COEDE	ALUMNO - COMPLEMENTARIO
2	2001	TACNA	BING C/B N°20	CMDTE - SECCIÓN
3	2002	SAMEGUA	BING C/B N°3	CMDTE SECCIÓN
4	2003	SAMEGUA	BING C/B N°3	CMDTE CIA
5	2004	JULIACA	BING C/B N°4	CMDTE DE SECCIÓN

6	2004	JULIACA	BING C/M N°4	CMDTE DE SECCIÓN
7	2005	LIMA - CHORRILLOS	ESC. ING - COEDE	ALUMNO
8	2005	JULIACA	BING C/M N°4	CMDTE SECCIÓN
9	2006	CONCEPCIÓN - HUANCAYO	BING CONST N°2	CMDTE SECCIÓN
10	2007	CONCEPCIÓN - HUANCAYO	BING CONST N°2	CMDTE CIA
11	2007	SATIPO	BCS N° 324	CMDTE SECCIÓN
12	2008	ZAMACOLA - AREQUIPA	CG-RMS	CMDTE CIA
13	2009	BUSTAMANTE - AREQUIPA	CIA ING SERV 113	CMDTE CIA
14	2010	ANDAHUAYLAS	BING C/B N° 241	CMDTE CIA
15	2011	ANDAHUAYLAS	BING C/B N° 241	CMDTE CIA
16	2012	LIMA – SAN BORJA	FOVIME	CMDTE SECCIÓN
17	2013	LIMA - ANCÓN	BAC N° 4	CMDTE CIA
18	2014	LIMA - ANCÓN	BAC N° 4	CMDTE CIA
19	2015	TACNA - TARATA	BTN SERV. N° 600	CMDTE CIA
20	2016	TACNA - TARATA	CEM 6ª BRIG FFEE	OFICIAL EM
21	2017	TACNA - TARATA	BTN CMDOS N° 613	S-3
22	2018	CERRO COLORADO	CG- III DE	JEFE DE INGUAR
23	2019	TACNA - ITE	BING C/B N° 6	EJECUTIVO – S-3
24	2020	TACNA – ITE	BING C/B N° 6	EJECUTIVO – S-3
25	2020	TACNA - ITE	BING C/B N° 6	EJECUTIVO – S-3
26	2021	TACNA – ITE	BING C/B N° 6	EJECUTIVO – S-3

4. ESTUDIOS EN EL EJÉRCITO DEL PERÚ

N°	Año	Dependencia y Periodo	Denominación	Diploma / Certificado
01	2000	Escuela de Ingeniería	Curso complementario	Diploma

02	2007	Escuela de Ingeniería	Curso Básico	Diploma
03	2015	Escuela de Ingeniería	Curso Avanzado	Diploma

5. ESTUDIOS DE NIVEL UNIVERSITARIO

N°	Año	Universidad y Periodo	Bachiller - Licenciado
01	2009	UNSA – 03/09/2009 - AREQUIPA	Bachiller en Administración
02	2012	UNSA – 27/04/2012 - AREQUIPA	Licenciado en Administración
03	2022	EMCH – 18/10/2022 - LIMA	Bachiller Ciencias Militares

6. ESTUDIOS DE POSTGRADO UNIVERSITARIO

N°	Año	Universidad y Periodo	Bachiller - Licenciado
01	2024	CAEN – 09/08/2024 – LIMA (2años)	Maestría en GRD

7. ESTUDIOS DE ESPECIALIZACIÓN

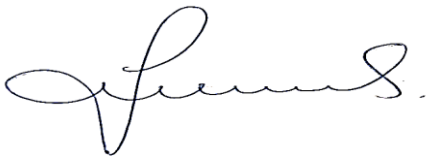
N°	Año	Universidad y Periodo	Bachiller - Licenciado
1	2022	Gestión del riesgo de desastre **21/03/2022 al 26/102022 CAEN**	Diplomado especial
2	2023	Residencia y supervisión de obras públicas y privadas **10/03/2023 al 03/04/2023 colegio de ingenieros del Perú**	Diplomado
3	2023	Especialista en gestión o monitoreo de proyectos educativos, sociales y comunitarios. (Escuela	Diplomado

		Integral de especialización Profesional – ESIEP) **10/04/2023 al 23/06/2023**	
4	2023	Gestión o promoción de la convivencia escolar y/o tutoría en educación educativa del **09/01/2023 al 24/03/2023** (Escuela Integral de especialización Profesional – ESIEP)	Diplomado
5	2024	Administración y Gestión Municipal – Escuela Global. **12/08/2024 al 12/10/2024**	Diplomado
6	2024	Programa de especialización en seguridad ciudadana **06/01/2024 al 23/03/2024 Instituto peruano de gobierno - IPEG**	Diplomado
7	2024	Gestión de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente **03/06/2024 al 03/08/2024 (escuela global de educación continua – EGEC)**	Diplomado
8	2024	Contrataciones del estado del **21/10/2024 al 21/12/2024 (escuela global de educación continua – EGEC)**	Diplomado
9	2024	Plan de prevención y reducción del riesgo de desastre – PPRRD del **06/12/2024 al 23/12/2024 colegio de ingenieros**	Diplomado
10	2012	Dirección y Gerencia de Recursos Humanos – Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. **04/01/2011 al 30/01/2012**	Diplomado
11	2011	Administración y Gerencia Estratégica – Univ. Privada de Tacna. **07/08/2011 al 20/12/2011**	Diplomado

8. ESTUDIOS EN EL EXTRANJERO

N°	Año	País	Institución Educativa	Grado/Titulo/ Diploma/Certificado

Firma :



Post firma : Yeremy Llerena Delgado