PRESENTE Y FUTURO DEL HIDROGENO EN SICA SICA – LA PAZ

Autor: ING. ORLANDO CANSECO GONZALES
TITULADO DE ING. ELECTRICISTA DE LA FAC. INGENIERIA – UMSA
MIMBRO INVITADO DE CDAEN
PRESIDENTE ASIEME LA PAZ 2023-2025 Y 2025-2027

INTRODUCCIÓN

Bolivia atraviesa una transformación de su escenario energético y económico, caracterizada por la declinación de la producción nacional de hidrocarburos, la reducción de las reservas disponibles, la creciente dependencia de la importación de combustibles, las restricciones fiscales y la necesidad de diversificar su matriz energética y productiva.

Esta situación configura una vulnerabilidad estructural que compromete la seguridad energética, la soberanía económica, la competitividad industrial y las perspectivas de desarrollo nacional.

Frente a este escenario, el Departamento de La Paz tiene la oportunidad de impulsar un nuevo modelo de desarrollo territorial, sustentado en la articulación de tres capacidades estratégicas:
Agroindustria: transformación de la producción agrícola y pecuaria en bienes con valor agregado.
Energía: diversificación de la matriz energética mediante fuentes renovables, eficiencia y nuevas tecnologías.

Agua: aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos para la producción agropecuaria, el consumo humano y los procesos industriales.

En este contexto, Chijmuni-Sica Sica presenta condiciones territoriales y logísticas que justifican su evaluación como núcleo de un nuevo polo de desarrollo agroindustrial y energético.

La proximidad a la carretera La Paz-Oruro, las conexiones ferroviarias y los corredores internacionales, las redes del Sistema Interconectado Nacional, la infraestructura de transporte de hidrocarburos y la potencial disponibilidad de recursos hídricos constituyen ventajas que pueden ser convertidas en factores de competitividad.

Sin embargo, dichas ventajas deben traducirse en proyectos técnicamente demostrados, inversiones económicamente sostenibles y resultados verificables.

La finalidad de esta Hoja de Ruta, presentada es pasar de la identificación de oportunidades y propuestas formuladas en el **Encuentro Estratégico Agroindustrial y Energético del Altiplano Boliviano** a una estructura organizada de planificación, decisiones, inversiones y ejecución.

BOLIVIA AVANZA EN LA EJECUCIÓN DE PLANTA DE ENERGIAS VERDES Y RENOVABLES

Realizados trabajos de inspección para Identificar la futura **Estratégica Planta Agroindustrial y Energética en el Departamento de La Paz**, se identificó la disponibilidad de agua subterránea y en época de lluvia y de ríos caudalosos que echan sus aguas a las pampas de Chijmuni - Sica Sica y tambien la Planta Solar Fotovoltaica en Patacamaya de 80 MW (en la comunidad de Chiaraque), que por su cercanía física <2 km, que sumadas sus las bondades de ambas localidades y por contar con infraestructura de carretera doble vía, ferroviaria, disponibilidad del Sistema Integrado Nacional (SIN), Estación de Compresión en Sica Sica que recibía petróleo, GN, RECON de Cochabamba y Santa Cruz y Bombea hasta Senkata GN, mediante el Gasoducto al Altiplano (GAA) , y por Oleoducto Sica Sica – Arica (OSSA 2 – sin uso por falta de RECON), en consecuencia constituye una propuesta viable, con nexo Agroindustrial y Energético enfocado en Hidrógeno Amarillo (H2A) y/o Hidrógeno Verde (H2V) en Chijmuni – Sica Sica, por su demostrada ubicación estratégica.

Se demuestra que la infraestructura disponible no está aislada. La cercanía intermunicipal para beneficio directo del Parque Agroindustrial y Energético en Chijmuni - Sica Sica, que reduce la necesidad de tender costosas líneas de transmisión privadas al instalar el módulo electrolizador en el límite, con infraestructura ya disponible, y que economiza las inversiones.

El planteamiento se alinea perfectamente con la "Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde" propuesta como resultado del "**1er. ENCUENTRO ESTRATEGICO AGROINDUSTRIAL Y ENERGETICO DEL ALTILANO BOLIVIANO" realizado este pasado 28 y 29/oct/2026**, la cual busca precisamente la industrialización, la sustitución de importaciones agrícolas y la transición energética regional e innovar la obtención de Hidrógeno en el área de 1000 hectáreas disponibles en Chijmuni.

La Planta Solar de Chiaraque: ENDE Guaracachi, en 90 hectáreas de terreno está implementando la Planta Solar Fotovoltaica Patacamaya, con 80 MW de energía Solar. Se ejecuta sobre terrenos cedidos precisamente por la comunidad de Chiaraque-Patacamaya, cuyos linderos rurales quedan muy cerca del límite intermunicipal con Sica Sica, a la altura aproximada del kilómetro 97.

Para estructurar el trabajo con un sustento técnico sólido alineado a la realidad de Bolivia, se destacan las claves por qué esta planta y la cercanía con Chijmuni – Sica Sica, hacen que el proyecto sea viable y considerar el Componente Agroindustrial (El Nexo con Chijmuni)

Para que el proyecto sea "Agroindustrial", la generación de energía Solar en Chiaraque se convierte en el insumo clave para la región circundante de Sica Sica (Chijmuni), enfocándose en dos vertientes, utilizar la energía de 80 MW y Producir Hidrógeno Amarillo (H2A) o Verde (H2V).

Producción de Fertilizantes Verdes: El altiplano central es productor de cultivos como quinua, papa, cebada, zanahoria, Remolacha y otros; los valles Durazno, Manzana, Pera, Uva y otros; los Yungas paceños; Naranja, Mandarina, Lima, Limón, Plátano, Yuca, Coca y otros, que con el Hidrógeno sea Blanco H2B, Amarillo H2A o Verde H2V, se puede combinar con nitrógeno del aire para producir Amoníaco Verde, la base para crear fertilizantes e insumos agrícolas nitrogenados 100% ecológicos. Esto generaría una agroindustria local de fertilizantes en Chijmuni, eliminando la dependencia de fertilizantes químicos importados.

Maquinaria Agrícola Cero Emisiones: El H2A, H2V o el amoníaco pueden usarse como combustible para los tractores y sistemas de bombeo de agua en los campos de Chijmuni, Vizcachani, Mantecani y otras, logrando un ciclo agrícola totalmente descarbonizado.

PRODUCCION DE HIDRÓGENO

a. El Vector Energético: Producción de Hidrógeno Amarillo (H2A) y Verde (H2V)

Energía Dedicada: Al ser una planta fotovoltaica de (80 MW) construida por ENDE Guaracachi, que genera energía limpia y renovable para alimentar electrolizadores (separador del agua en hidrógeno y oxígeno).

Ventaja Geográfica: Al estar sobre el eje troncal (Ruta 1), la planta reduce los costos logísticos de transporte. El H2V producido se puede almacenar a alta presión y transportarse fácilmente en camiones cisterna o por los ductos, oleoductos de YPFB hacia centros industriales.

Para calcular la producción de Hidrógeno Amarillo (H2A) o Verde (H2V) y siendo el consumo de agua, debemos basarnos en los estándares globales de la electrólisis y requerimiento de energía de la Red del Sistema Integrado Nacional (SIN) y en su caso recurriendo al recurso solar del altiplano boliviano, con un promedio excelente mínimo de 8 Horas de Sol Pico (HSP) al día.

Se iniciará un ensayo, asumiendo la disponibilidad de 80 MW, potencia que permite obtener unos 8,000 kg (8 toneladas) de HIDRÓGENO al día requiriendo entre 72,000 y 200,000 litros de agua diarios, mientras que con 40 MW se obtiene la mitad (4,000 kg de H2V) con un requerimiento proporcional de agua.

b. Desglose técnico y las métricas comerciales estándar que servirán para respaldar el presente trabajo:

Tabla Comparativa de Rendimiento Diario

Parámetro Diario	Caso 1: Planta de 80 MW (8 Hrs/día)	Caso 2: Planta de 40 MW 8 Hrs/día)	Operación Continua 24/7 (80 MW Híbrido + SIN)
Energía Generada	640 MWh/día	320 MWh/día	1,920 MWh/día
Producción de H2V	~11,636 kg/día (11.6 Tn)	~5,818 kg / día (5.8 Tn)	~34,909 kg / día (34.9 Tn)
Agua Ultrapura	~104,727 litros/día	~52,364 litros / día	~314,182 litros / día
Agua Cruda Total	~290,909 litros/día	~145,455 litros / día	~872,727 litros / día

- **Agua Estequiométrica (Ultrapura):** Químicamente, romper la molécula exige estrictamente 9 litros de agua pura por cada kilo de H2.
- **Agua de Proceso (Huella Real):** En la práctica, los sistemas de filtrado por ósmosis inversa descartan agua con minerales, y las torres de enfriamiento del electrolizador evaporan otra parte. Por ello, la industria calcula que se deben captar entre 25 y 30 litros de agua cruda de la fuente por cada kilo de H2 final.

c. Impacto Agroindustrial a Gran Escala (El nexo con Chijmuni)

- La Electrólisis, por sus características técnicas permite generar un subproducto consistente en 8 kg de Oxígeno (O2) medicinal/industrial por cada kilo de H2. ¡La planta de 80 MW regalaría 64 toneladas de oxígeno puro al día que podrían usarse en otras industrias o salud!

- Además, esos 8,000 kg de hidrógeno diarios son suficientes para producir cerca de 45 toneladas de Amoníaco Verde al día, lo que cubriría una parte masiva de la demanda de fertilizantes ecológicos para las comunidades de Patacamaya y Sica Sica.

REQUERIMIENTO DE AGUA PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO H2A Y/O H2V

Para producir 1 kilogramo de hidrógeno, se requieren 9 litros de agua ultrapura. Sin embargo, el agua disponible, debe someterse a procesos de purificación y filtraje induambiental (ambiental e industrial). ...

INFRAESTRUCTURA PROTOTIPO O ESTANDAR A CONSIDERAR EN M2

- En la industria del Hidrógeno Amarillo o Verde para el prototipo y estándares de distribución espacial (layouts) que se proyecta, se comprueba la existencia de estudios similares: “diseño de una planta de H2A o H2V alimentada por un sistema solar de 80 MW.
- El área requerida no se limita solo al espacio físico de las máquinas; el estándar exige generosas distancias de seguridad ("Safety Distances"):

Dimensionamiento Estándar de la Infraestructura (Área Construida)

NAVE ELECTRÓLISIS	80 MW	40 MW
Nave de 8 MW	10	5
Planta Industrial	~11.000 m²	~5,500 m²
Área	~2,240 m²	~1,120 m²
Sistema de Almacenamiento Energético	~1,930 m²	~965 m²
Planta de Tratamiento de Agua	~100 m²	~50 m²
Subestación Eléctrica e Inversores	~800 m²	~400 m²

- Dado que la Estación de Compresión de Sica Sica está conectada al Gasoducto al Altiplano **(GAA) hacia Senkata e históricamente bombeaba hacia el OSSA 2 a Arica:**
- **La Propuesta Técnica:** En lugar de construir gasoductos nuevos, se propone inyectar un porcentaje de Hidrógeno Verde (entre el 5% y el 20% en volumen) directamente en los ductos existentes de Gas Natural (GAA). Esta mezcla se conoce internacionalmente como Hytane.
- **El Impacto:** El GN mezclado con HIDROGENO, reduce drásticamente las emisiones de CO_2 sin necesidad de cambiar los quemadores de las industrias; en El Alto/Senkata o las termoeléctricas conectadas, se usaría la capacidad ociosa de la infraestructura de YPFB Transporte para "transportar" energía limpia como es el obtenido del agua u con el recurso como es la tecnología fotovoltaica convertida en gas.
- **Reconversión del Oleoducto Sica Sica - Arica (OSSA 2) para Amoníaco Verde**
- **La Propuesta Técnica:** El Hidrógeno es difícil de transportar a largas distancias en su forma pura porque requiere presiones extremas. Sin embargo, si en el terreno contiguo a la estación de Sica Sic, se sintetiza el H2A y/o H2V en Amoníaco Verde (NH_3) (un líquido a presiones moderadas), este oleoducto inactivo puede ser evaluado para su reconversión en un Amoniaco ducto.
- **El Impacto:** Bolivia pasaría de importar combustibles caros a exportar Amoníaco Verde hacia los mercados internacionales a través del puerto de Arica. Chijmuni se convertiría en el puerto seco de la energía limpia boliviana.

Sinergia de Infraestructura Civil y Eléctrica (Ahorro de Millones)

- Una de las mayores barreras para las plantas de H2A o H2V es construir salas de control, sistemas de compresión de alta potencia y subestaciones eléctricas.

- **Aprovechamiento de la Estación de Compresión:** La estación de Sica Sica ya cuenta con derechos de vía, terrenos industriales protegidos, subestación eléctrica para motores de gran tamaño y sistemas de seguridad contra incendios/gases.

- Resultado: Ubicar la nave de electrólisis de 80 MW pegada a la infraestructura de YPFB reduce el costo de inversión inicial (CAPEX) en aproximadamente un 35%, comparado con construir un complejo químico desde cero en medio del altiplano.

Resumen para el Enfoque Agroindustrial-Energético

- Al llegar las líneas de ductos desde las refinerías de Cochabamba y Santa Cruz a este nodo central, el proyecto se plantea en dos fases estratégicas:
- **Fase Agroindustrial Corto Plazo (Chijmuni local):** Uso de la energía de Chiaraque para generar fertilizantes que sustituyan las importaciones agrícolas del altiplano.

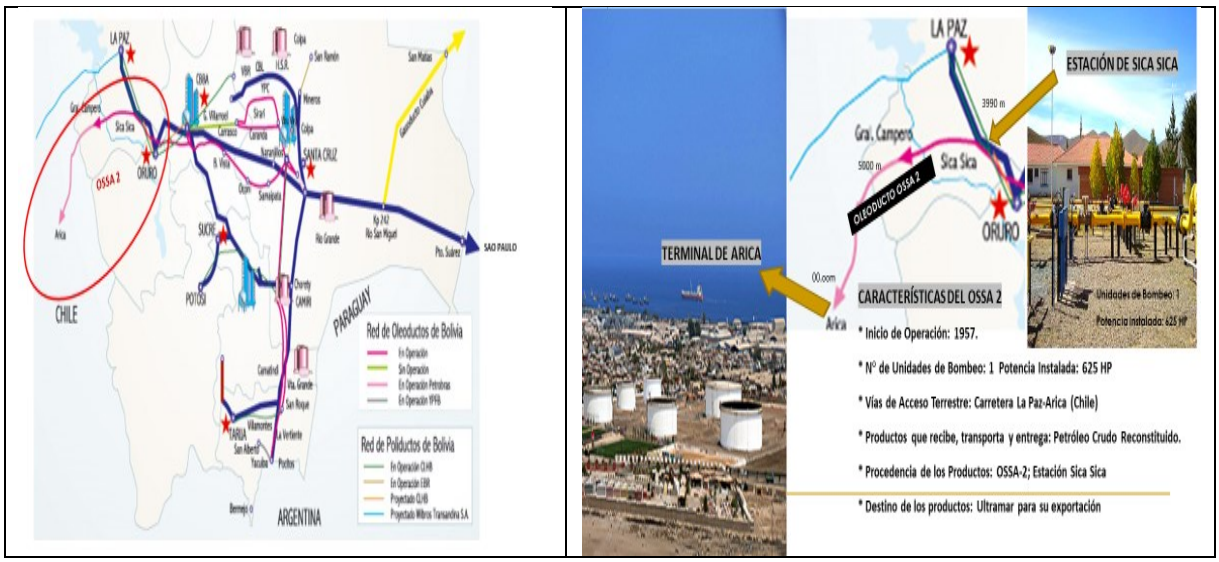
- **Fase Energética de Gran Escala (Red de Ductos):** Inyección de H2A o H2V en el gasoducto a Senkata para descarbonizar la industria de La Paz/El Alto o reconversión del OSSA 2 para exportación de amoníaco/combustibles sintéticos.
- **Estación de Medición Senkata**: Carretera Oruro-La Paz. Producto que Transporta: Gas natural. Capacidad de entrega (MMPCD):
- La estación de Compresión de Sica Sica, fue construido en 1957 para exportar petróleo crudo desde Bolivia. Iniciando oficialmente operación el 2005.
- **La reversión del oleoducto es técnicamente posible**, con una precisión técnica y geopolítica impecable, porque describe no es solo un proyecto local, sino la solución estructural para el talón de Aquiles energético que sufre Bolivia: la crisis de suministro de diésel y gasolina, combinada con la asimetría de transporte en el territorio, sustentado bajo la premisa del bombeo en reverso hacia el corazón del país, aprovechándose a que 7 de los 9 departamentos (menos Beni y Pando por su compleja topografía amazónica y ríos caudalosos) ya están interconectados con redes de gas domiciliario, vehicular (GNV) e industrial.

A continuación, se estructuran los argumentos técnicos clave para integrar directamente en la propuesta:

El Concepto del "Flujo Inverso" desde Chijmuni / Sica Sica.

Históricamente, los hidrocarburos cruzan el territorio nacional desde los campos del Oriente (Santa Cruz/Tarija) y de la refinería de Cochabamba hacia el Altiplano (Senkata) para abastecer a La Paz. Sin embargo, con la declinación de los campos, la infraestructura quedó subutilizada.

La Propuesta: Al estar la Estación de Compresión de Sica Sica interconectada con el eje central, el Hidrógeno Amarillo (H2A) o Verde (H2V) generado con la energía solar de Chiaraque o del mediante la Energía disponible en el Sistema Integrado Nacional (SIN), puede ser comprimido e inyectado en el nodo de Sica Sica, para bombear la mezcla en sentido inverso (hacia Cochabamba y, en cascada, hacia los gasoductos que conectan al resto de los 7 departamentos interconectados).



La Sinergía Logística: Las estaciones de compresión en el eje de Bolivia están distribuidas estratégicamente a distancias máximas de ~100 km (por ejemplo, la Estación de Compresión Carrasco en el tramo hacia Cochabamba). Esta infraestructura de YPFB Transporte ya cuenta con la potencia instalada para desplazar el flujo, requiriendo únicamente adecuaciones menores en las válvulas de control y sellos para manejar el hidrógeno en reverso.

Viabilidad Técnica del Blending (Mezcla del 30%)

El planteamiento de alcanzar hasta un 30% de H2V en volumen, resulta sumamente competitivo y se alinea con las proyecciones más ambiciosas a nivel global.

Alineación con la Estrategia Nacional: La reciente Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en Bolivia estipula que el país iniciará formalmente con proyectos piloto de blending al 5% en las redes de distribución y generación eléctrica, con metas de escalabilidad progresiva hasta alcanzar el 50%. Proponer un 30% sitúa tu proyecto en el rango óptimo de maduración técnica a mediano plazo.

Ventaja Física del Ducto: Debido a que el hidrógeno es tres veces menos denso que el gas natural, la caída de presión en el ducto no representa un problema crítico. Las estaciones de compresión existentes a cada 100 km pueden manejar este volumen sin requerir sobreesfuerzos estructurales drásticos, siempre que la velocidad de transporte se mantenga controlada para proteger la integridad de las tuberías de acero.

Mitigación de las "Dificultades de Gasolina y Diésel"

- Bolivia gasta miles de millones de dólares subvencionando e importando diésel y gasolina. Introducir un 30% de H2V en la red troncal tiene un impacto directo:
- **Sustitución de GNV**: El gas vehicular que se despacha en las estaciones de servicio de los 7 departamentos interconectados ya no sería gas natural fósil puro, sino Hytane (GN + 30% H2V). Esto reduce de inmediato el volumen de gas natural nacional requerido para el transporte público y privado, liberando saldos de gas para otros usos térmicos o petroquímicos.

Descarbonización Industrial: Las industrias conectadas a la red domiciliaria/industrial en La Paz, Cochabamba y Santa Cruz empezarían a consumir una matriz limpia automáticamente, reduciendo la huella de carbono del sector agroindustrial de Chijmuni y de las manufacturas del eje central.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Viabilidad Económica y Ahorro Estratégico para el Estado Boliviano mediante la obtención de H2A o H2V, reutilización de Ductos y Flujo Reverso

CONCLUSIONES

Optimización del Gasto Público (CAPEX Evitado): La reutilización de la infraestructura existente de YPFB Transporte (Ductos, Poliductos y la Estación de Compresión de Sica Sica) representa un ahorro estimado de entre el 60% y el 70% en los costos de inversión inicial (CAPEX) en comparación con la construcción de un sistema de transporte exclusivo para Hidrógeno Verde (H2V). El Estado boliviano evita el tendido de nuevas líneas y los complejos procesos de licenciamiento ambiental y derecho de vía en el Altiplano y los valles interandinos.

Alivio Financiero por Sustitución de Importaciones: La inyección de hasta un 30% de H2V en la red troncal interconectada (que abastece a 7 de los 9 departamentos) desplaza directamente el consumo de Gas Natural fósil en los sectores doméstico, industrial y de Gas Natural Vehicular (GNV). Esto permite liberar volúmenes de gas natural para su posterior industrialización o cumplimiento de contratos, al mismo tiempo que mitiga de forma indirecta la crisis de divisas provocada por la millonaria subvención estatal a la importación de diésel y gasolina.

Revalorización de Activos Ociosos: El proyecto rescata del desuso activos críticos como el Oleoducto Sica Sica - Arica (OSSA 2) y la capacidad ociosa del Gasoducto al Altiplano (GAA). La configuración del "bombeo en reverso" aprovecha la arquitectura de estaciones de compresión distribuidas cada 100

km (como en el nodo hacia Cochabamba), transformando un sistema históricamente unidireccional en una red dinámica bidireccional de almacenamiento y transporte de gas sintético (Hytane).

RECOMENDACIONES

Ajuste del Marco Regulatorio Nacional: Se recomienda coordinar con el Ministerio de Hidrocarburos y Energías (MHE) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) la actualización de la normativa técnica de transporte por ductos, formalizando los límites máximos permitidos de mezcla (blending) y adoptando los estándares internacionales de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en Bolivia.

Despliegue de Inversión por Fases: Iniciar con un proyecto piloto de blending al 5% en el tramo Sica Sica - Cochabamba para calibrar los sistemas de compresión, planificando un escalonamiento progresivo hacia el 30% conforme la Planta Fotovoltaica de Chiaraque expanda su capacidad de electrólisis.

Exclusión Geográfica Estricta: Ratificar en el diseño final que Beni y Pando quedan excluidos de esta red troncal debido a las barreras topográficas de la selva amazónica y sus ríos caudalosos. Para estas regiones, se debe recomendar formalmente una estrategia exclusiva de micro-generación distribuida local y al disponer de Gas natural en Mayaya, orientar el Gaseoducto hacia Trinidad- Beni (430 km) y a Pando (Trinidad – Cobija: 500 Km).

Ofrezco preparar un artículo complementario, que incluya costos estimados, fuentes de financiamiento y tambien avances de construir en Bolivia un Sistema Prototipo de Electrólisis.

REFERENCIAS

- **SISTEMA DE TRIGENERACIÓN APLICADA AL PARQUE INDUSTRIAL SICA SICA (PLANTA DE SECADO DE MALTA) –PROYECTO DE GRADO UMSA- POSTULANTE A PROYECTO DE GRADO (F.I. 2012): JOSÉ APARICIO SALINAS, TUTOR: ING. ORLANDO CANSECO GONZALES.**
- **GUIA DE LA COGENERACIÓN: WWW.FENERCOM.COM**
- **GUIA INDUSTRIAL PARA INVERSIONISTAS; WWW.PUERTOALTAMIRA,COM.MX**
- **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA., BOLIVIA**
- **LIBRO VIRTUAL: AUTOR ORLANDO CANSECO GONZALES 2016 "LA INDUSTRIALIZACION EN BOLIVIA ES VIABLE"**
- **LIBRO VIRTUAL: AUTOR ORLANDO CANSECO GONZALES 2023 "REACTIVACION TÉCNICA, ECONÓMICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y TERRITORIAL DE BOLIVIA".**
- **PLAN MAESTRO "GN: PARA DESARROLLAR EL SECTOR AGROPECUARIO BOLIVIANO" REVISTA ELECTROMUNDO Nº 49, DICIEMBRE 2006. AUTOR ORLANDO CANSECO GONZALES.**
- **"LA INDUSTRIALIZACION EN BOLIVIA ES VIABLE" REVISTA ELECTROMUNDO Nº42, ABRIL 2004. AUTOR ORLANDO CANSECO GONZALES.**
- **"GN Y VALOR AGREGADO, LA INDUSTRIALIZACION EN BOLIVIA ES VIABLE, PLANTAS DE SEPARACION, FRACCINAMIENTO Y TEMOELECTRICIDAD". REVISTA ELECTROMUNDO Nº 57, OCTUBRE 2009. AUTOR ORLANDO CANSECO GONZALES.**
- **"GN, PROPUESTA PARA LA INTEGRACIÓN ENERGÉTICA Y DESARROLLO INDUSTRIAL EN BOLIVIA". REVISTA ELECTROMUNDO Nº 63, OCTUBRE 2011. AUTOR ORLANDO CANSECO GONZALES.**
- **"SISTEMA DE TRIGENERACION, APLICADO A LA PLANTA DE SECADO DE MALTA EN EL FUTURO PARQUE INDUSTRIAL DE SISCA SICA". REVISTA ELECTROMUNDO Nº 67, OCTUBRE 2012. AUTOR ORLANDO CANSECO GONZALES.**
- **"PLANTA DE TERMOELECTRICIDAD PARA LA SIDERURGIA DEL MUTUN Y EXPORTACION AL BRASIL". REVISTA ELECTROMUNDO Nº 77, JUNIO 2016. AUTOR ORLANDO CANSECO GONZALES.**
- **1er. ENCUENTRO ESTRATÉGICO AGROINDUSTRIALY ENERGÉTICO EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO (28 Y 29/OCT/2026).**