
La lucha entre corrientes

&

Una nueva era de corriente
eléctrica directa llega a México

Contenido

Resumen Ejecutivo	3
Los motivos para desarrollar líneas de corriente directa	4
La preparación global para la ola de corriente directa	10

Acerca de los autores

Durante los últimos años, el equipo Strategy& ha acompañado a los sectores público y privado en la transformación del sector eléctrico en México. Ha colaborado con entidades públicas, asociaciones privadas e inversionistas, en la evaluación e implementación de estrategias en el ámbito de la generación y suministro eléctrico, contribuyendo así a la transformación del *mix* de nuestro país. Del otro lado del espectro, ha apoyado a empresas industriales y comerciales en la selección de opciones de suministro eléctrico para generar procesos productivos y servicios más competitivos.

El equipo de Strategy& está conformado por profesionales especializados en el sector eléctrico mexicano y en mercados internacionales.

En este documento parte de la base del reporte elaborado por nuestra red global “*Current Wars 2.0 – A new era of direct current is set to transform your world*” publicado en marzo de 2018, y adecuado al entorno del sector en México.

En su desarrollo local también contribuyeron Angeles Elias e Imanol Mondragón.

Datos de contacto

Eduardo Reyes

Socio,
eduardo.reyes.bravo
@pwc.com
+52 (55) 5263 8967

Guillermo Chávez

Gerente,
guillermo.canales
@pwc.com
+52 (55) 5263 5485

Miguel Ángel Avendaño

Gerente,
miguel.angel.avendano
@pwc.com
+52 (55) 5263 6385

Resumen Ejecutivo

La generación de electricidad ha tendido a diversificarse, con un incremento en la generación distribuida.

A finales del siglo XIX, Thomas Alba Edison y Nikola Tesla estaban investigando alternativas para transmitir y utilizar corrientes eléctricas. Ambos investigadores encontraron alternativas diferentes, Edison se convirtió en un fiel creyente de la corriente directa (DC por sus siglas en inglés) mientras que Tesla se enfocó en el desarrollo de la corriente alterna (AC por sus siglas en inglés). Lo anterior resultó en una rivalidad conocida como “Guerra de Corrientes”. La discusión fue ganada eventualmente por Tesla, reflejado en los sistemas de transmisión y distribución que conocemos hoy en día, que utilizan corriente alterna. Actualmente, se está reevaluando la teoría de Edison, y la manera en la que se está generando y distribuyendo energía está cambiando. La generación renovable y el uso de nuevas tecnologías, como las baterías, impulsan a cambiar la forma actual de transmisión.

La descentralización de la generación eléctrica, aunado a la creciente demanda por la generación distribuida, han fomentado que las fuentes de generación se encuentren cada vez más cerca al consumidor. Contrario a las centrales de generación, desde las cuales se transporta energía a través de largas distancias, el uso de microredes permiten el uso de líneas de transmisión de DC al igual que de AC.

Los beneficios del uso de líneas de corriente directa se han vuelto cada vez más tangibles. Mediante el análisis del consumo de empresas ubicadas en la misma región, se llegó a la conclusión de que al agregar las cargas los costos de energía – tanto inversión (CAPEX) como operación (OPEX) – podrían reducirse en un 30% a lo largo de 25 años.

De igual manera, la transmisión DC resulta con un mayor grado de eficiencia cuando las distancias en las que se tiene que transmitir la energía con amplias. Actualmente en Mexico se encuentran en desarrollo dos líneas de Corriente Directa de Alto Voltage (HVDC), otras más podrían seguir en los próximos años.

Tanto inversionistas como usuarios deben asegurarse que cuentan con las capacidades y estrategia necesaria para aprovechar los beneficios de la corriente directa.

Esperamos que este documento sea de su interés.

Atentamente, el equipo Strategy&.

El desarrollo de líneas de corriente directa podría reducir el costo de la energía hasta un 30% a lo largo de 25 años

Los motivos para desarrollar líneas de corriente directa

En este reporte se han identificado cuatro principales motivos para desarrollar líneas de transmisión de corriente directa.

1. Transformación en la matriz de generación y la manera de consumo

La generación ha ido cambiando de una matriz principalmente fósil a una matriz diversificada, con una tendencia creciente hacia las fuentes de generación renovables. Asimismo, la generación se ha descentralizado y cada vez se genera más electricidad de manera local. La energía generada a través de paneles solares se genera en corriente directa y el crecimiento de ésta fuente de generación, impulsa el desarrollo de sistemas de transmisión en dicho tipo de corriente. De acuerdo a la Asociación Internacional de Energía Renovable (IRENA) el crecimiento de generación de energía solar creció de 34 TWh en el 2010 a 253 TWh en 2016, impulsando el desarrollo de la transmisión en corriente directa.

Por la naturaleza de la fuente de generación, los paneles solares no generan energía de manera constante. La intermitencia de la generación ha fomentado el desarrollo de fuentes de almacenamiento. Entre las tecnologías desarrolladas se incluyen las baterías de litio, supercapacitores, celdas de combustible y baterías de flujo; estas tecnologías tienen la capacidad de almacenar de manera eficiente la energía en corriente directa. A pesar del crecimiento en la inversión para el desarrollo de estas tecnologías, a la fecha tan sólo el 1% de la energía solar generada es almacenada, creando una oportunidad para explotar el potencial de las tecnologías de almacenamiento.

Mientras evolucionan las tecnologías de almacenamiento, la iluminación de LEDs en hogares y oficinas, al igual que electrónicos (computadoras, celulares, entre otros) han empezado a utilizar corriente directa. Sin embargo, el legado de Tesla se observa en la conexión de los hogares y oficinas a redes de corriente alterna. Por esta razón, las computadoras portátiles requieren de un convertidor de AC-DC para poder utilizar corriente alterna.

Otra fuente que fomenta el uso de corriente directa es el crecimiento de microrredes. Los componentes de una microrred son una fuente de generación solar, electrodomésticos que utilicen corriente directa y nuevas formas de almacenamiento de energía, todas conectadas a través de cables. Un ejemplo de una microrred, sería una casa con la capacidad de utilizar una batería de un automóvil eléctrico para generar corriente en el sistema y viceversa, como aparece en la figura 1. Un ejemplo de una red de gran escala, sería una ciudad en la cual los edificios e instalaciones estén conectados a dicha red. Cofely (una empresa subsidiaria de Engie, anteriormente GDF Suez) y Bosch (empresa alemana) son ejemplos de empresas que hacen uso de microrredes en corriente directa para sus edificios e instalaciones industriales.

El creciente uso de vehículos eléctricos, aumenta el uso de supercargadores en corriente directa, que logran cargar una batería de automóvil eléctrico en cuestión de minutos. La empresa Tesla está construyendo miles de estaciones de carga en corriente directa en varios países. La implementación de infraestructura de carga en corriente directa reducirá el nivel de pérdidas actuales asociado a la conversión de AC-DC.

En México, las principales razones por las cuales se busca desarrollar líneas de HVDC son la integración de centrales renovables al Sistema Interconectado Nacional, la alineación de precios marginales locales y la interconexión entre sistemas eléctricos aislados

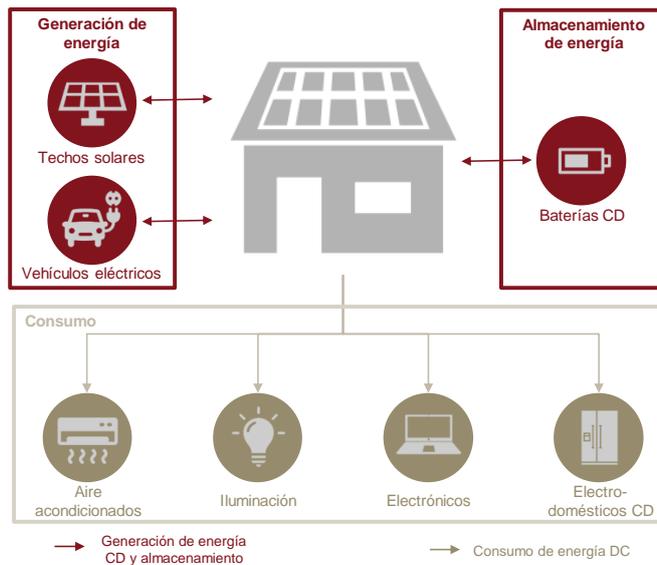


Figura 1. Ejemplo de una Microred doméstica – Fuente: Strategy&

La generación distribuida en México, tiene un gran potencial para desarrollarse. Actualmente, se cuenta con poco más de 300 MW instalados a lo largo del país. La Comisión Reguladora de Energía (CRE) estima un crecimiento con un comportamiento exponencial para alcanzar los ~6 GW de Generación Solar Distribuida para 2023. Esta clase de generación abre la puerta a la posible implementación de microredes de corriente directa en nuestro país.

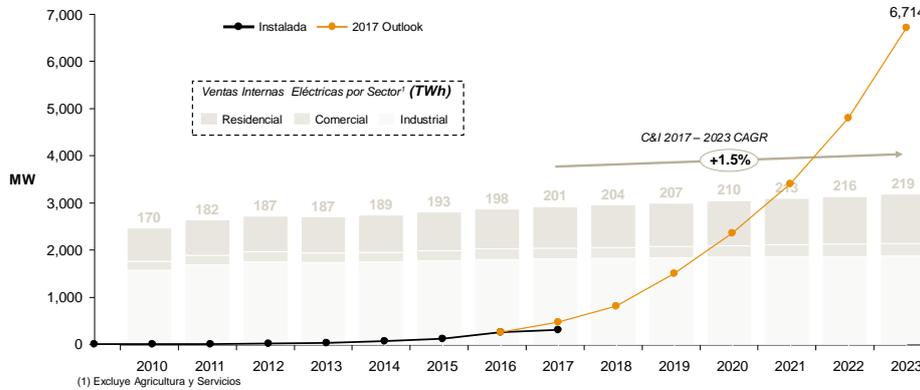


Figura 2. Capacidad Acumulada de Generación Solar Distribuida en México – 2010 a 2023E (MW) – Fuente: CRE, Strategy& analysis

2. Creciente necesidad de infraestructura: transmisión a través de largas distancias

Cada vez hay mayor intercambio de electricidad transfronterizo, especialmente en Europa debido a la liberalización de los mercados eléctricos. El sur de Alemania obtiene la energía utilizada a través de líneas transfronterizas con Francia, en las cuales se busca tener la mayor eficiencia a través de largas distancias. La misma situación ocurre en África, en donde se están desarrollando proyectos similares.

La tecnología con mejores resultados en esta situación son las líneas de corriente directa en alto voltaje (HVDC), debido a que la transmisión a través de éstas líneas tiene menores pérdidas cuando se compara con las líneas de corriente alterna en alto voltaje (HVAC), las cuales tienen porcentajes superiores de pérdidas debido a la frecuencia irregular. Con menores pérdidas de energía, el costo de estabilización de la red es menor en distancias largas. Es por ello que las líneas de HVDC tienen un gran potencial de continuar su desarrollo, el grupo de investigación MarketsandMarkets de India, estima que la capacidad de transmisión actual se podría duplicar a 43 GW al 2022.

Líneas HVDC como solución a los retos en México

La Red de Transmisión del Sistema Eléctrico Nacional presentan retos que pueden ser solucionados, en parte, a través de la implementación de líneas de HVDC a lo largo del país. La reducción, las pérdidas de electricidad, el incremento en las capacidades de interconexión (hoy en día limitada) en zonas con alto potencial de generación de energía renovable (e.g. la capacidad de interconexión para evacuar el potencial eólico de Oaxaca), la interconexión de regiones aisladas en el país (e.g., el sistema de Baja California) y la reducción en los costos por congestión (que impactan en el costo de la tarifa eléctrica), son ejemplo de retos que pueden ser abordados a través de éstas líneas.

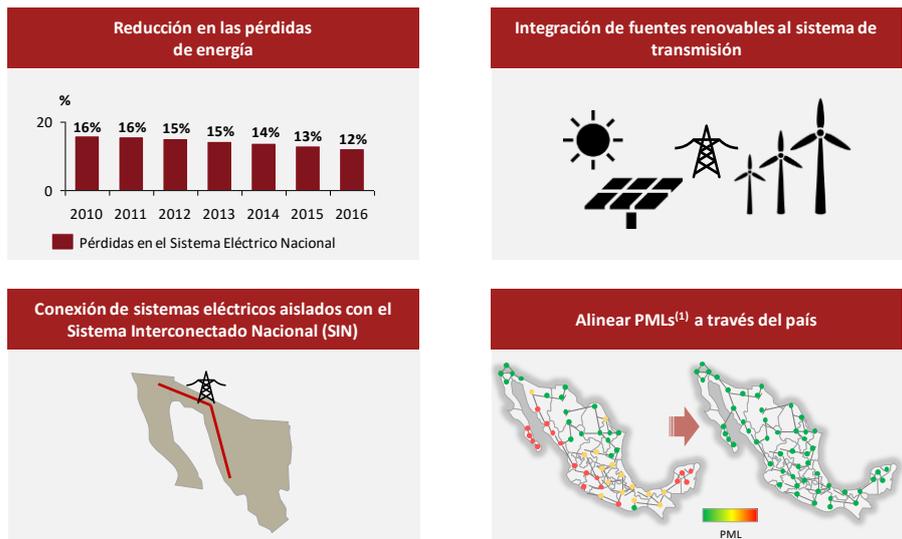


Figura 3. Principales retos del Sistema Internocnectado Nacional a tacklear con el desarrollo de tecnologías de corriente directa (1) Precios Marginales Locales. Fuente: Strategy&

Los futuros desarrollos de HVDC en México están detallados en el Programa de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional (PRODESEN), publicado anualmente por SENER. En los próximos cinco años, se planea desarrollar más de 5,000 km-c de líneas HVDC. Actualmente, se encuentran en proceso de licitación dos líneas con más de 2,500 km-c agregados: i) Baja California – Sonora fue anunciada el último trimestre de 2017 y las bases de la licitación se publicaron en febrero de 2018; y ii) Ixtepec – Yautepec fue anunciada desde 2016 y las bases de la licitación se publicaron en febrero de 2018. SENER se encarga de la licitación Baja California – Sonora mientras que CFE es el encargado de la licitación Ixtepec – Yautepec.

La lucha entre corrientes

Las líneas que están actualmente en licitación se encuentran indicadas en rojo en la figura a continuación.



Figura 4. Futuros desarrollos de líneas HVDC en México – Fuente: PRODESEN 2017, Análisis Strategy&

En total, estos proyectos suman una inversión estimada de \$ 5,430 millones de USD. El proyecto que requerirá mayor inversión unitaria (es decir, millones de dólares por km) es el que interconecta Baja California Sur debido a su enlace submarino. El enlace Yucatán - Chiapas sería el proyecto HVDC más extenso en México (con una inversión prevista cerca de \$1,520 millones de USD).

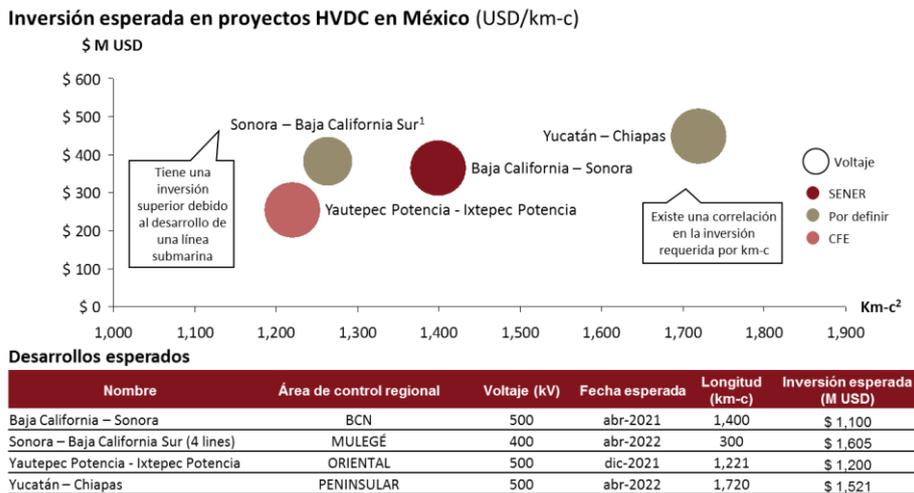


Figura 5. Inversión esperada en proyectos de HVDC en México – Fuente: PRODESEN 2017, Análisis Strategy&

3. Constante innovación y desarrollo de nuevas tecnologías

El desarrollo de líneas DC ha sido impulsado por el crecimiento tecnológico. Los transformadores de media frecuencia, entre otras tecnologías, han generado interés en la corriente directa debido a su potencial de estabilización de sistemas y reducción de costos. Algunas empresas que han mostrado interés en dichos productos son la manufacturera francesa Alstom, empresa de ingeniería suiza ABB y el Instituto SuperGrid, de GE y EDF.

Adicionalmente, la innovación en cables de corriente directa ha impulsado la eficiencia energética de vehículos eléctricos y aeronaves. Empresas como Microsoft y Facebook han instalado sistemas híbridos de AC-DC para sus centros de información ahorrando alrededor de 20% en el consumo eléctrico. Al mismo tiempo éstos sistemas eficientizan el uso del espacio.

4. Evolución regulatoria: implementación de iniciativas públicas y privadas

Las entidades gubernamentales han empezado a reconocer los beneficios de la corriente directa. State Grid, la utility gubernamental en China, ha empezado a trabajar en un proyecto para construir líneas de ultra alto voltaje en corriente directa, las cuales se esperan aumentarán la disponibilidad eléctrica a través del país. El uso y expansión de las líneas de corriente directa también ha sido impulsado por la empresa de manufactura Emerge Alliance por medio de la creación de estándares de adopción de corriente directa en edificios comerciales.

La evolución regulatoria en México

La Reforma Energética de 2014, establece que la prestación de los Servicios Públicos de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica a cargo de la CFE se realizará por conducto de subsidiarias. Si bien, estas empresas podrán asociarse o celebrar contratos con otras subsidiarias o filiales de la CFE, así como con particulares para llevar a cabo el financiamiento, instalación, operación, mantenimiento, gestión y ampliación de la infraestructura necesaria para prestar los citados servicios.

Aunado a lo anterior, el Centro Nacional de Control de Energía lleva a cabo la planeación de la expansión de la Red de Transmisión. Dentro de este proceso ha comenzado a incluir proyectos de corriente de alto voltaje (HVDC) para zonas específicas que, por sus condiciones, hacen más eficiente el uso de esta tecnología.

El desarrollo de la línea para Baja California – Sonora será licitado por SENER. La inversión total esperada, de acuerdo con el PRODESEN, será de \$1,100 M USD. Una de las ventajas de este desarrollo es que permitirá la conexión entre el Sistema Interconectado de Baja California con el Sistema Interconectado Nacional. Esto podría permitir mayores exportaciones e importaciones con CAISO, el Sistema de California en los E.U.A.

Estructura y participantes de la asociación público privada

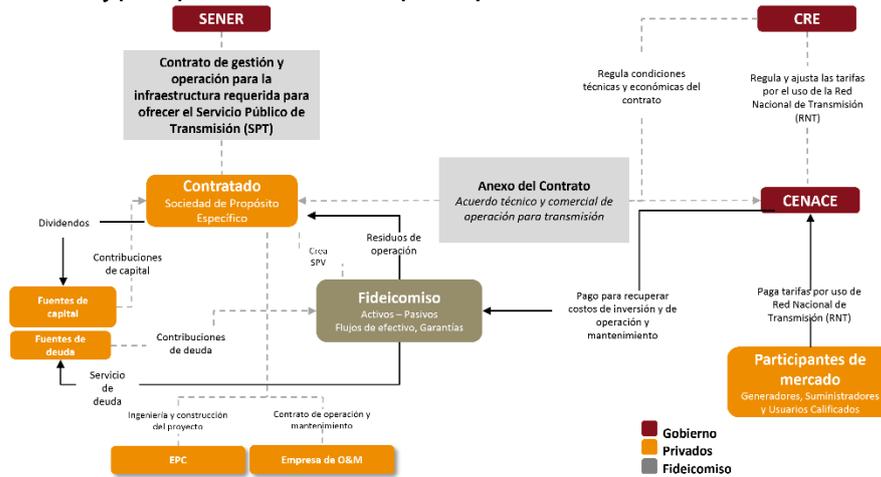
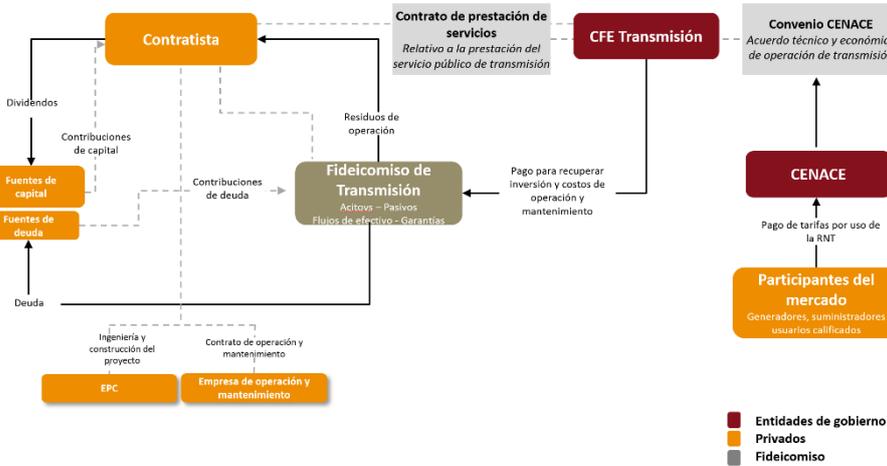


Figura 6. Estructura y participantes de la asociación público privada - Fuente: Borrador de Contrato

CFE está organizando una licitación para desarrollar la línea de HVDC Ixtepec – Yautepec. Una de las razones para desarrollar esta línea es interconectar un área de alto potencial de energía renovable (i.e. Oaxaca) con un área de alta demanda de energía (i.e. zona del Valle de México).

Esquema de participación



Fuente: Piliago de requisitos, Strategy&

Figura 7. Estructura y participantes de la asociación público privada - Fuente: Borrador de Contrato

Ejemplos de uso de la corriente directa en diferentes sectores

Los beneficios y ahorros potenciales que representa la corriente directa son aplicables en múltiples industrias. Al mismo tiempo, el desarrollo de corriente directa tendrá impacto en varias líneas de negocio, tales como I+D, cadenas de suministro, desarrollo de nuevos productos, entre otros. Las empresas en diferentes sectores, deben de considerar el uso e impacto de esta tecnología en sus negocios y operaciones. Desarrollar una hoja de ruta estratégica podría maximizar la ventaja competitiva de cada una de las empresas.

Posibles aplicaciones y beneficios de la corriente directa para sectores seleccionados			
Energía	Utilities	Desarrollar sistemas de microrredes	~30% de ahorros en costos de Capex y Opex
	Transmisión	Construir transmisión en corriente directa (HVDC)	Reducción en pérdidas de energía entre ~20-50% para tensiones superiores a 400 kilovolts
	Manufactura	Elaborar una subestación con salida de CD	~30% reducción de espacio
Transporte	Aeronáutica	Utilizar CD para impulsar el equipo de aterrizaje, en lugar del motor de la aeronave	Ahorro de combustible
	Automotriz	Vehículos Eléctricos, supercargadores	Acortar tiempos de recarga (hasta 10 veces menos)
	Marina	Propulsión eléctrica de largo alcance, peso ligero con red eléctrica incorporada	Disminución de peso en ~30%
	Ferroviaria	Transformadores eficientes de CD en media frecuencia sobre trenes	Reducción en pérdidas de energía del ~60%
Tecnologías de la Información	Centros de Datos	Sistemas con funcionalidad híbrida (AC/DC)	Ahorros de energía y espacio hasta un 20%

Hoja de ruta para explotar el potencial de la Corriente Directa	
Utilities	Diseño e integración de arquitectura en redes de CD
	Identificación de oportunidades para el desarrollo de proyectos de CD
	Asesorar oportunidades para desarrollar estrategias de microrredes
Operadores de transmisión de energía	Incrementar las inversiones en I+D en transformadores HVDC
	Profundizar el interés en las tecnologías HVDC
Fabricantes de sistemas de HVDC	Evaluar las oportunidades de asociación con los servicios públicos y los operadores de transmisión para maximizar el retorno en inversiones de I+D
	Innovar al desarrollar nuevas tecnologías de CD
Manufactura aeronáutica	Integrar sistemas eléctricos de CD en futuras aeronaves
	Definir la capacidad de los proveedores para proporcionar equipos de CD apropiados para apoyar su demanda
Manufactura naval	Continuar en I+D en unidades de Corriente Directa
	Definir la capacidad de los proveedores para proporcionar equipos de CD apropiados para apoyar su demanda
Ferroviaria	Repensar la arquitectura de la red y limitar el número de subestaciones para reducir el costo de mantenimiento y trabajo operativo a lo largo de líneas
	Evaluar la oportunidad de modernizar transformadores de trenes
Operadores de centros de datos	Crear el caso de negocio apropiado de sistemas de suministro de energía AC-DC
	Mejorar las relaciones con los fabricantes de sistemas de CD para beneficiarse de mejoras adicionales en la tecnología
Negocios (comercial e industrial)	Crear el caso de negocio apropiado de sistemas de suministro de energía AC-DC
	Evaluar la oportunidad para implementar microrredes

Contactos:

Eduardo Reyes

Socio,
eduardo.reyes.bravo@pwc.com
+52 (55) 5263 8967

Guillermo Chávez

Gerente,
guillermo.canales@pwc.com
+52 (55) 5263 5485

Miguel Ángel Avendaño

Gerente,
miguel.angel.avendano@pwc.com
+52 (55) 5263 6385

Strategy& is a global team of practical strategists committed to helping you seize essential advantage.

We do that by working alongside you to solve your toughest problems and helping you capture your greatest opportunities.

These are complex and high-stakes undertakings — often game-changing transformations. We bring 100 years of strategy consulting experience and the unrivalled industry and functional capabilities of the PwC network to the task. Whether you're

Charting your corporate strategy, transforming a function or business unit, or building critical capabilities, we'll help you create the value you're looking for with speed, confidence, and impact.

We are part of the PwC network of firms in 157 countries with more than 208,000 people committed to delivering quality in assurance, tax, and advisory services. Tell us what matters to you and find out more by visiting us at strategyand.pwc.com.

En PwC nuestro propósito es construir confianza en la sociedad y resolver problemas importantes. Somos una red de firmas con presencia en 157 países y más de 208,000 personas comprometidas a ofrecer servicios de auditoría, consultoría e impuestos y servicios legales de la más alta calidad.

Conócenos mejor y dínos qué es lo más importante para ti. Visita: www.pwc.com.

PwC se refiere a la red y/o una o más firmas miembro de PwC, cada una de las cuales constituye una entidad legal independiente. Favor de ir a www.pwc.com/mx para obtener mayor información al respecto.

© 2018 PricewaterhouseCoopers, S.C. Todos los derechos reservados. Elaborado por MPC: 20180924-ms-lucha-corrientes