

Centro de Datos Compacto de alta capacidad de procesamiento para aplicaciones de redes inteligentes en Subestaciones de Distribución

Manuel Romero Castellanos
Comisión Federal de Electricidad
Redes Inteligentes
Cuernavaca, Morelos
manuel.romeroc@cfe.mx

Joel Guevara Aranda
Alianza Energética del Bajío
Ciudad de México, México
jguevara@alianzaenergetica.com.mx

Madleen Laclef
Alianza Energética del Bajío
Ciudad de México, México
mlaclef@alianzaenergetica.com.mx

Rudi Carolsfeld
Green Edge Computing Corp
Vancouver, Canada
rudi@g3cco.com

Resumen— La creciente demanda de altas capacidades de procesamiento computacional cada vez más avanzadas continúa creciendo en las subestaciones de energía eléctrica para aplicaciones de redes eléctricas inteligentes, donde a través de interoperabilidad con los mayores volúmenes de datos (big data) de sensores, cámaras, relevadores de protección, medidores de calidad de la energía, UTRs y otros sistemas, requieren herramientas rápidas para la toma de decisiones de automatización y control de los procesos para brindar un servicio de energía eléctrica con calidad, continuidad y confiabilidad como lo solicita el Código de Red. El Centro de Datos compacto de alta capacidad de procesamiento para subestaciones (o “Aparato de Edge Computing”) admite todas las aplicaciones de software que sean requeridas en una amplia gama de sistemas operativos, aprovechando las numerosas herramientas de virtualización y contenedores que se han desarrollado para grandes centros de datos y sistemas de computación en la nube incluyendo ciberseguridad. Es una solución informática miniaturizada con una arquitectura ideal para la implementación de redes eléctricas inteligentes en subestaciones de energía eléctrica donde el tamaño, el peso, la potencia, la refrigeración y la seguridad son consideraciones críticas. Este documento propone el “Aparato de Edge Computing”, como una nueva categoría de computación compacta para su implementación en subestaciones eléctricas, como alternativa a los ordenadores heredados y específicos del proveedor.

Palabras clave— Centro de datos compacto de alta capacidad de procesamiento, equipo de Edge Computing (Edge Computing Appliance), computación robusta y resistente (rugged), servidor industrial, computación en nube privada, virtualización, contenerización o contenedor.

I. INTRODUCCIÓN

A medida que se despliegan fuentes de datos cada vez más complejas en las subestaciones de energía eléctrica, la demanda de redes de mayor ancho de banda conectadas a centros de datos centralizados también tiende a un mayor crecimiento, lo que lleva a una mayor capacidad de información en la nube, es decir, fuera del centro de datos tradicional.

Los datos convencionales recopilados y transferidos a través de unidades terminales remotas (UTRs) como mandos,

estados y alarmas son solo una pequeña fracción del volumen total de datos que generan las subestaciones actualmente, utilizando cámaras de alta definición, por ejemplo, para identificar el estrés térmico, la seguridad del perímetro, los daños a la infraestructura, etc.

Los dispositivos electrónicos inteligentes con alta capacidad de procesamiento se implementan en toda la red eléctrica nacional para el dominio 3 “Operación de la red” automatizando las subestaciones y circuitos de distribución, así como en el dominio 4 “Gestión de activos y de la fuerza de trabajo”, que requieren de un Centro de Datos compacto de alta capacidad de procesamiento directamente instalado en las subestaciones eléctricas que logren integrar toda la información en diferentes arquitecturas, marcas, desarrollos, etc aportando al dominio 5 “Tecnología” dentro de los 8 dominios de la red eléctrica inteligente. Este centro de datos compacto da como resultado una solución excelente para las subestaciones de distribución que brinde el hardware con aplicaciones de software y sistemas operativos interoperables.

A medida que se implementen las redes inteligentes, introduciendo la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático (ML), la realidad aumentada y virtual (AR/VR), los gemelos digitales y los algoritmos de ciberseguridad, el volumen de datos aumentará inevitablemente aún más. La necesidad de tomar decisiones rápidas (inferencias) basadas en estos algoritmos avanzados también aumentará en los próximos años, y la latencia de muchas conexiones de red haría imposible centralizar estos procesos de toma de decisiones.

Los datos de UTRs generalmente representan algunas decenas de megabytes (MB) por mes, transferidos a través de conexiones de red que rara vez superan los 100 Mbps. Las subestaciones equipadas con datos de sistemas “smartgrid” modernos y futuros pueden generar fácilmente muchos terabytes (TB) por mes y podrían saturar rápidamente las conexiones de la red.

La implementación del centro de datos compacto edge computing en la subestación es una alternativa en lugar de enviar todos los datos de la subestación a través de redes públicas o privadas a centros de datos centralizados. También permite la toma de decisiones de baja latencia, que se convertirá en la nueva normalidad.



Fig. 1. Comunes en centros de datos, los racks y gabinetes de 19 pulgadas requieren espacio dedicado y no son ideales para subestaciones eléctricas¹

II. IMPORTANCIA DEL TAMAÑO, PESO, POTENCIA Y REFRIGERACIÓN PARA EQUIPOS EN LA SUBESTACIÓN

Los sistemas informáticos o centros de datos convencionales de tipo servidor, suelen instalarse en bastidores de 19 pulgadas y, por lo general, requieren una infraestructura dedicada de alimentación y refrigeración. Aunque sigue siendo popular después de su introducción hace más de 100 años en 1922, el bastidor de 19 pulgadas no hace nada para minimizar el espacio, y en muchos diseños de centros de datos se despliegan con más de la mitad vacíos en previsión de una demanda expandida con el tiempo, como se muestra [1] en la Figura 1.

Las subestaciones a menudo no tienen un espacio con aire acondicionado que sea adecuado para estos sistemas, y es posible que no tengan los 2000 W a 5000 W (o más) que podrían necesitarse para cada bastidor de equipos de TI. La necesidad de un sistema de manejo de aire frío para mantener este equipo fresco puede ser un obstáculo insuperable en algunas situaciones.

Esto impulsa la necesidad de una nueva categoría de equipo de Edge Computing (Edge Computing Appliances) que sean livianos, montados en la pared, compactos y resistentes, que brinden acceso controlado a un grupo de servidores miniaturizados y puedan operar sin una infraestructura de alimentación y refrigeración dedicada.

El centro de datos compacto “Edge Computing” también debe proporcionar una capacidad de almacenamiento de datos sustancial para abordar el tsunami de datos que probablemente se generará en una subestación moderna, así como interfaces de red integradas con capacidad de ciberseguridad. Un ejemplo de tal aparato de Edge Computing se muestra en la Figura 2, con cuatro módulos de computación, un módulo de conmutador de red y una matriz de almacenamiento de datos en un gabinete robusto, sin ventilador, seguro y montado en la pared que minimiza tamaño, peso, consumo de energía y refrigeración.



Fig. 2. Diseño de referencia de un “Edge Computing Appliance” compacto en un chasis de 30 cm cúbicos

III. ADOPTAR EL ESTÁNDAR VPX PARA SUBESTACIONES

Las interfaces estandarizadas garantizan que los sistemas y componentes de diversos proveedores ofrezcan interoperabilidad, y esto también se aplica al factor de forma y la conectividad estandarizados que se incluyen en un aparato de Edge Computing.

La Asociación de Comercio Internacional de VMEbus (VITA) desarrolló el estándar VITA65 VPX para abordar los desafíos de la computación de alto rendimiento cuando se ven limitados por el tamaño, peso, consumo de energía y refrigeración. El estándar VPX define cómo se conectan los módulos a través de una placa posterior con topologías de sistema estándar, o perfiles [2], que proporciona pautas arquitectónicas neutrales para diseñadores e integradores.

Aunque en el principio el VPX orientaba el diseño de módulos informáticos robustos para las industrias de defensa y aeroespacial, el VPX aborda fácilmente la necesidad de una arquitectura de hardware informático que pueda hacer frente a los desafíos de las subestaciones eléctricas y otros despliegues que requieren tamaño reducido, bajo consumo de energía, sin refrigeración dedicada, seguridad, robustez, modularidad y capacidad de actualización.

Los equipos de Edge Computing son un ejemplo de productos que están llevando esta tecnología desde sus orígenes en las exigentes aplicaciones militares o espaciales a una variedad de casos de uso civiles, lo que los hace particularmente adecuados para su uso en subestaciones eléctricas.

IV. VIRTUALIZACIÓN EN SUBESTACIONES

Los sistemas de medición, automatización, protección y control se despliegan ampliamente en las subestaciones, y muchos de estos sistemas dependen de computadoras dedicadas heredadas para el software asociado. El análisis de gases disueltos para transformadores, la termografía, las cámaras de seguridad y un sinnúmero de otros sistemas se introducen regularmente, cada uno requiriendo su propia solución informática.



Fig. 3. Servidor miniaturizado de alto procesamiento medidas 100 mm x 160 mm

Esto puede llevar a muchas plataformas informáticas independientes que pueden ser difíciles de gestionar, especialmente cuando se implementan soluciones de software nuevas y más complejas en cientos, o incluso miles, de subestaciones en una red de distribución.

La *virtualización* permite que el software proporcionado por varios proveedores independientes comparta los recursos informáticos de un grupo de servidores. Virtualizar estos sistemas en un aparato de Edge Computing compartido puede simplificar en gran medida el mantenimiento y las reparaciones, y facilitar la gestión de repuestos y actualizaciones.

Aunque las máquinas virtuales (VM) y los contenedores, así como el software de hipervisor que se utiliza para gestionarlos, son ahora comunes en centros de datos privados in situ y en centros de datos de nube pública, estas soluciones han evolucionado rápidamente y ahora pueden ofrecer muchas ventajas de un entorno de procesamiento de datos resiliente y predecible en muchas subestaciones que han sido equipadas con aparatos de Edge Computing.

V. VIRTUALIZACION CON APARATOS DE EDGE COMPUTING

Al igual que cualquier servidor montado en bastidor convencional, cada módulo informático instalado en un aparato de Edge Computing podría utilizarse como un ordenador convencional con un único sistema operativo; sin embargo, hay beneficios sustanciales al implementar un pequeño clúster de dos o tres servidores en una subestación y proporcionar máquinas virtuales (VM) y/o contenedores según sea necesario. Algunas ventajas [3] son:

- Costos físicos más bajos de los recursos
- Configuración más rápida
- Capacidad para crear backups
- Mayor flexibilidad

Cada instancia de VM o contenedor podría ser capaz de reemplazar un servidor montado en bastidor o computadora dedicada que de otro modo sería necesario para ejecutar la solución de software dedicada de un proveedor de sistemas, llevando las soluciones de medición, automatización, control,

protección, análisis de gases disueltos y otros software a una plataforma informática común, cada uno ejecutándose en VMs o contenedores según sea necesario.

Utilizando un hipervisor, estas VM y contenedores pueden ser gestionados de forma centralizada: pueden ser creados o eliminados, se puede asignar memoria adicional cuando sea necesario, y las interfaces de red definidas por software pueden ser reasignadas según sea necesario. El software dentro de cada VM o contenedor puede ser actualizado, o reemplazado a través de la automatización que garantiza sistemas operativos consistentes en muchas cientos o miles de subestaciones.

VI. VENTAJAS DE LOS EQUIPOS DE EDGE COMPUTING

Además de las ventajas de baja latencia del procesamiento local de datos, puede haber otras razones técnicas, operativas, económicas o de seguridad para procesar grandes volúmenes de datos que probablemente se generarán dentro de la subestación a medida que se implemente nuevo software en los próximos años.

Desde la perspectiva de un procesador de datos, no hay una diferencia significativa entre las VM que se ejecutan en un clúster de servidores y procesan datos desde una base de datos localizada en una subestación, y las VM que se ejecutan en un clúster de servidores procesando datos desde una base de datos centralizada en un centro de datos.

Los centros de datos de Edge Computing y las VM y contenedores que se ejecutan en sus servidores pueden abordar la necesidad de procesamiento de datos local, ininterrumpido y en tiempo real en entornos adversos que están sujetos a restricciones de espacio, tienen infraestructura limitada de energía y refrigeración, pueden tener un ancho de banda de red bajo o intermitente y requieren tiempos de respuesta de baja latencia.

Si el aparato de Edge Computing y los servidores se adhieren al perfil estándar VPX, entonces los servidores son completamente intercambiables, lo que reduce en gran medida el costo, el esfuerzo de soporte y la complejidad logística.

El servidor miniaturizado alineado con VPX mostrado [4] en la Figura 3 tiene solo 100mm x 160mm de tamaño. Esto es aproximadamente un 90% más pequeño y más ligero que un servidor montado en bastidor comparable, lo que facilita mucho la obtención de repuestos, el envío al sitio, el almacenamiento en el sitio, la retirada e instalación. El enfoque con conectores permite a los técnicos con muy poca capacitación llevar a cabo actualizaciones y reemplazos físicos.

La integración del red en el backplane de VPX elimina errores de cableado y fallas de conectores que pueden ser causados por errores del usuario o contacto accidental. El bajo consumo de energía (típicamente menos de 100W) y la refrigeración conductiva pasiva (sin ventiladores) reducen la probabilidad de fallos de componentes y prolongan la vida útil del sistema.

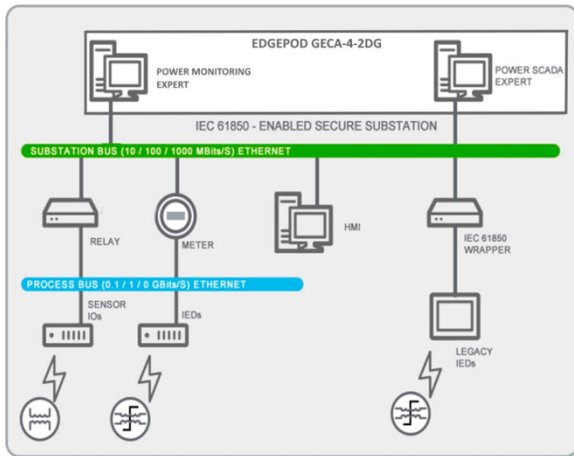


Fig. 4. Arquitectura de referencia de software para subestación eléctrica de distribución

El estado actual de la técnica para estos servidores miniaturizados alineados con VPX cuenta con procesadores Intel Xeon o AMD Epyc, con CPUs de múltiples núcleos. El análisis de transmisión gráfica (g-stream) a través de aceleradores GPU/AI complementarios puede ser compatible. La memoria a bordo de hasta 64 GB (DDR4) y la memoria de almacenamiento de hasta 16 TB (NVMe) por servidor están disponibles comercialmente.

El almacenamiento de datos de archivo a largo plazo es común en los centros de datos en la nube, y este concepto puede extenderse fácilmente a una instalación de almacenamiento en red ampliamente distribuida. La capacidad de compartir almacenamiento entre varios servidores requiere módulos de almacenamiento de estado sólido fácilmente reemplazables (64 TB o más) dentro del centro de datos compacto “Edge Computing”.

La interfaz con sistemas de monitoreo y control es común y fácilmente compatible.

VII. ARQUITECTURA DE REFERENCIA DE SOFTWARE PARA SUBESTACIONES

La arquitectura de referencia de software para una subestación de distribución típica se ilustra en la Figura 4.

Relevadores de protección, medidores, una variedad de unidades terminales remotas (UTR) y otros sistemas intermedios pueden ser desplegados en la subestación y conectados al aparato de Edge Computing.

El propósito del software es digitalizar la subestación eléctrica, ofreciendo soporte de decisiones para garantizar operaciones sin problemas. Mejora la seguridad, confiabilidad, cumplimiento y eficiencia, impulsando en última instancia mejoras operativas.

El software se integra con relevadores de protección, medidores, UTRs y otros dispositivos utilizando diversos protocolos como DNP3, IEC 61850 y protocolos propietarios. Establecer una conexión rápida y confiable con estos



Fig. 5. Estado del diagrama unifilar de la subestación proporcionado en tiempo real por el software de monitoreo y control

dispositivos es crucial para prevenir la pérdida de datos y proporcionar información en tiempo real a los operadores. Desplegar el software a nivel de la subestación, alojado por el aparato de Edge Computing, ofrece una configuración ideal para un rendimiento óptimo.

Gestionar un volumen considerable de datos es esencial, ya sea que implique proporcionar datos en tiempo real y representar el unifilar de la subestación (mostrado [5] en la Figura 5), o almacenar alarmas, eventos, datos históricos y capturas de forma de onda.

Para satisfacer esta demanda, es necesaria una capacidad computacional a nivel de la subestación. Esto puede ser facilitado por el aparato de Edge Computing, que alberga máquinas virtuales (VM) que contienen los entornos operativos para cada aplicación de software nativa diseñada para el equipo de la subestación. Estos aparatos permiten la escalabilidad futura del sistema, acomodando el creciente volumen de datos que debe ser gestionado.

VIII. CONCLUSIONES

La implementación de las redes eléctricas inteligentes requiere de una alta velocidad de comunicación y de procesamiento de todos los dispositivos electrónicos inteligentes en la red eléctrica. El centro de datos compacto “Edge Computing” con estándar VPX ofrece una arquitectura sólida para el diseño de una nueva categoría adecuada para despliegues en subestaciones eléctricas de distribución.

El bajo consumo de energía y la refrigeración pasiva permiten que el equipo de Edge Computing sea la solución perfecta, superando la falta de instalaciones dedicadas de sala de ordenadores con aire acondicionado.

La mayoría de las subestaciones existentes no han podido aprovechar los avances significativos en virtualización, contenerización y gestión de activos para lograr la automatización de subestaciones y circuitos de distribución a través de soluciones de hipervisor que se han desarrollado para la computación en la nube y la computación tipo nube local.

Al integrar un equipo de Edge Computing compacto con alta capacidad de procesamiento y espacio para información (big data) dentro de las subestaciones, considerando los principios de diseño de los estándares VPX, ahora es posible desplegar sistemas compactos, altamente capaces y multi-servidor que cumplen con los requisitos de los entornos de subestaciones, en beneficio de los clientes finales, la rentabilidad de la empresa eléctrica y del país.

REFERENCIAS

- [1]. <http://green-data.blogspot.com/2019/08/how-to-choose-data-center-racks-cabinets.html>
- [2]. ANSI/VITA 65.1-2021, OpenVPX™ System Standard – Profile Tables; October 4, 2021
- [3]. <https://www.dnsstuff.com/benefits-of-server-virtualization>
- [4]. <https://www.g3cco.com>
- [5]. <https://www.se.com/mx/es/product-range/65405-ecostruxure-power-operation#overview>

SOBRE LOS AUTORES

Manuel Romero tiene Maestría en sistemas eléctricos de potencia y en liderazgo desarrollador, cuenta con mas de 26 años de servicio en la Comisión Federal de Electricidad. Es líder en la implementación de las redes eléctricas inteligentes en México. Especialista y consultor en el cumplimiento del Código de Red y el Mercado Eléctrico Mayorista. Manuel ha sido miembro destacado y conferencista internacional de la IEEE, CIGRE en temas de eficiencia energética, energías renovables, automatización de la red, calidad de la energía y redes eléctricas inteligentes. Ha representado a la CFE en la atención de huracanes en Estados Unidos, Puerto Rico y Cuba

Joel Guevara Aranda, Ingeniero Mecánico Eléctrico, UNAM, Cuenta con mas de 20 años de experiencia de servicio en el ramo del Monitoreo Eléctrico y control con la tecnología ION, ha colaborado en estos años tanto en sistemas de monitoreo de Industrias Privadas como de Sistemas para gobierno, como lo es CFE, fue certificado con el CPQ del IEEE, consultor del Código de Red. Cuenta en su haber con el diseño de algoritmos de control de demanda y visualización de datos para el MEM.

Madleen Laclef recibió su título de Ingeniería Eléctrica del Instituto Nacional Politécnico de Grenoble en Francia. Con más de 17 años de experiencia en la industria de soluciones energéticas, ha desempeñado diversos roles en Schneider Electric, incluyendo gestión de productos, marketing y desarrollo de negocios. A lo largo de su carrera, ha brindado un amplio apoyo a los clientes a nivel mundial, ayudándolos a implementar soluciones de gestión energética de primer nivel.

Rudi Carolsfeld recibió su Maestría en Ingeniería Eléctrica e Informática de la Universidad de Victoria en Canada. Tiene más de 25 años de experiencia en sistemas de medición, controles industriales y redes. Rudi ha ocupado puestos ejecutivos sénior en gestión de productos (incluida una patente de coinvencción), marketing y ventas desde el crecimiento inicial hasta la adquisición de dos importantes empresas tecnológicas canadienses: Power Measurement (Schneider Electric) y RuggedCom (Siemens). Como cofundador y director de ingresos de Green Edge Computing Corp, Rudi se esfuerza por llevar una tecnología revolucionaria a los clientes que necesitan una computación perimetral más capaz con un menor coste operativo y una huella medioambiental. Rudi ha sido miembro del IEEE desde 1983.