

Protección de Sobre Corriente en Línea de Transmisión con Generación Eólica

J. J. Muñoz-Avalos¹, M. A. Arjona-López¹, C. A. Moralez-Bazán²

Resumen— Este artículo presenta un esquema de protección por sobre corriente para una granja eólica en un sistema de transmisión. La energía eólica es una fuente de energía renovable alternativa, ya que puede ayudar a complementar a las fuentes actuales. Este artículo presenta una simulación del impacto de la generación distribuida sobre la sensibilidad del relevador de sobre corriente en sistemas de distribución. Su principal característica es que se encuentra instalada cerca del centro de consumo. Se asigna el relevador de sobre corriente para proteger las líneas de distribución. Los análisis de falla y el ajuste del relé se realizaron utilizando el software NEPLAN®.

Temas claves—Energías renovables, aerogeneradores, relevador de sobre corriente, generador de inducción doblemente alimentado, parque eólico.

Abstract— this paper presents a scheme of over-current protection for a wind farm in a transmission system. Wind energy is a renewable energy alternative source, because it can help to complement the current energy sources. This paper presents a simulation of distributed generation impact on overcurrent relay sensitivity in the wind energy plant within a power system. Its main feature is that generation is installed near of consumption point. Where overcurrent relays are used to protect distribution lines. The failure analysis and relay setting are performed using NEPLAN®.

Keywords— Renewable energy, wind turbine, protections overcurrent relay, doubly fed induction generator, farm energy.

I. INTRODUCCIÓN

Como sabemos la población humana está en aumento y por consiguiente tenemos un aumento en la producción de energía eléctrica, esto hace que cada vez sea más cara y nos lleve a nuevas ideas de producción más baratas. A lo largo de la historia se ha utilizado la energía del viento

para la navegación de barcos, molinos de viento, bombas accionadas por el viento, entre otros usos, sin embargo, se ha visto un cambio muy grande en los últimos años, ya que la energía del viento se convierte en energía eléctrica a través de un generador.

El uso de fuentes de energía renovable se ha incrementado bastante en los últimos años, ya que la población, las empresas y los gases de efecto invernadero en el calentamiento global van en aumento. Debido a esto, las empresas de energía eléctrica han tenido que voltear hacia las energías verdes. En este artículo se toma en cuenta las máquinas de inducción doblemente alimentadas para la generación de energía eléctrica mediante la energía del viento.

Con sus limitantes, las plantas de potencia de energía renovable se instalan localmente, y equipadas con un pequeño generador por arriba de unos cuantos MW. Por lo tanto, se pueden localizar cercanos a centros de consumo. Los grandes flujos de una subestación de potencia a través de los alimentadores de distribución se reducen. Este concepto es llamado generación distribuida. Esto permite a los consumidores locales generar su propia electricidad. Una planta de generación distribuida normalmente utiliza generadores síncronos. Sin embargo, hay plantas de generación distribuida que utilizan generadores de inducción equipados con controles de electrónica de potencia.

Las plantas de energía eólica están localizadas en áreas rurales, y para estar conectadas a la red de potencia pueden estar conectados a una línea de distribución.

II. PROTECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

El estudio de la protección de las líneas de transmisión ofrece una oportunidad para examinar muchas consideraciones fundamentales de los relevadores que se aplican, en un grado u otro, a la protección de todos los otros tipos de equipo del sistema de potencia [9].

Las líneas de transmisión son principalmente expuestas a cortos circuitos entre fases o de fase a tierra. Esto es también la principal fuente de daño a todos los demás

¹ Ing. Jesús Javier Muñoz Avalos (javis10_3@hotmail.com), Dr. Marco Antonio Arjona. Instituto Tecnológico de la Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Calz. Cuauhtémoc s/n Torreón, Coahuila, México.

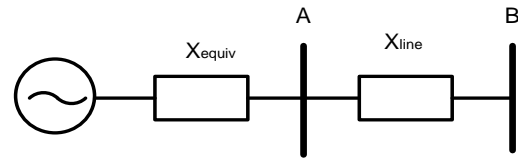
² Carlos Alberto Morales Bazán (camb70@hotmail.com). Instituto Tecnológico de la Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Calz. Cuauhtémoc s/n Torreón, Coahuila, México.

equipos eléctricos. El rango de la corriente de falla posible, el efecto de la carga, la cuestión de la direccionalidad y el impacto de la configuración del sistema, son parte del problema de la línea de transmisión.

Ya que las líneas de transmisión son también los enlaces a las líneas adyacentes o equipo conectado, la protección proporcionada por la línea de transmisión debe ser compatible con la protección de todos estos elementos. Esto requiere coordinación de configuración, características y tiempos de operación. Las técnicas analíticas asociadas con el cálculo de corto circuito, principalmente el método de componentes simétricas, son igualmente aplicables a todos los equipos eléctricos, pero la variedad de configuraciones de la línea de transmisión introduce complejidad y sofisticación adicional [9,10].

La cuestión de direccionalidad está íntimamente asociada con el diseño del sistema de potencia. Un sistema radial, esto es uno con una fuente de generación, puede tener corriente de falla que solo fluye en una sola dirección: desde la fuente hasta la falla. En un lazo o una red, la corriente de falla puede fluir en cualquier dirección, y el sistema de relés puede ser capaz de distinguir entre las dos direcciones. La longitud de la línea, como era de esperar, tiene un efecto directo sobre la configuración de un relé. Los relés se aplican principalmente, para proteger un segmento de línea dada y, además si es posible, para respaldar los relés de protección de segmentos de línea adyacentes. Un interruptor por lo general define los límites de un área protegida y, con los contactos del interruptor cerrados, no hay impedancia apreciable entre él y un segmento de la línea y el comienzo de la siguiente. Un relé, por lo tanto, no se puede ajustar sobre la magnitud de la corriente de falla solo con el fin de diferenciar entre una falla en el extremo de una zona o el comienzo de la siguiente.

El problema es aún más complicado si la línea es corta, esto es, como se muestra en la figura 1, su impedancia es mucho menor que la impedancia de la fuente. En tal caso, hay muy poca diferencia en la magnitud de la corriente para una falla en una de la línea en comparación con una falla en el otro. Es entonces difícil de configurar un relé de modo que solo proteja su propia línea y vaya demasiado lejos en la siguiente. También, como se muestra en la figura 1, una línea grande, es decir, una con una mayor impedancia que la impedancia de la fuente, tiene otro problema [9,10].



Línea corta $X_{line} < X_{equiv}$

Línea larga $X_{line} >> X_{equiv}$

Figura 1. Línea corta en comparación de línea larga

III. RELEVADOR DE SOBRE CORRIENTE DE TIEMPO DE RETARDO

La aplicación principal de los relevadores de sobre corriente es en un sistema radial donde se proporcionan ambas protecciones de fase y tierra.

Los relés de sobre corriente también son usados en sistemas industriales y en líneas de sub-transmisión que no se puede justificar la protección más cara tal como el relé de distancia.

Hay dos tipos de ajustes que deben ser aplicados a todos los relés de sobre corriente de tiempo de retardo:

1. **Configuración de arranque.-** el primer paso es elegir la configuración de arranque del relé de modo que opere para todos los cortos circuitos en la sección de la línea para la cual proporcionará protección [9,10]. Esta opción también debe proporcionar respaldo para una sección de la línea adyacente.
2. **Configuración del tiempo de retardo.-** la característica del tiempo de retraso del relé es un parámetro independiente que es obtenido en una variedad de formas, dependiendo del diseño del relé. El dial será marcado en un entorno de 0.5 a 10. Entre mayor sea la corriente de funcionamiento, menor el tiempo que tarda el disco en viajar desde la posición de reiniciar a la posición de funcionamiento [9,10]. Esto en los relés de disco de inducción.

IV. RELEVADORES DE SOBRE CORRIENTE INSTANTÁNEOS

La figura 2 muestra porque un relé de sobre corriente simple de tiempo inverso no puede ser utilizado sin ayuda adicional. Cuando más cerca se localiza la falla a la fuente,

más grande es la magnitud de la corriente, sin embargo es más largo el tiempo de disparo [9,10].

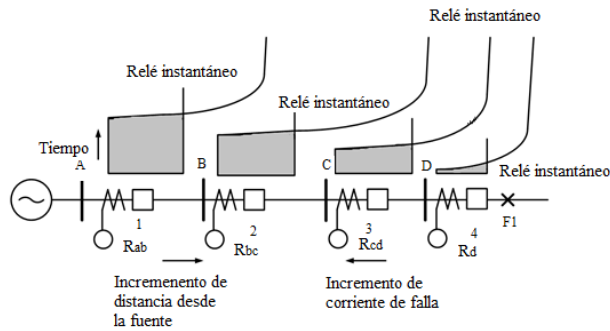


Figura 2. Aplicación de relés de sobre corriente instantáneos

V. SIMULACIÓN, RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este artículo, se analiza un sistema de potencia de 5 buses como se muestra en la figura 3 como un sistema de prueba. Este sistema contempla cuatro aerogeneradores de 1.3 MW conectados en el nodo A. La información de este sistema de prueba se presenta en la tabla I. Los relevadores de sobre corriente se encuentran instalados en los nodos C, D y E. El relevador CO-8 es utilizado en cada nodo. Las fallas en los buses C, D y E fueron simuladas en el software Neplan. El tipo de falla que se simuló fue la más severa, en este caso, una falla trifásica.

Tabla I. Información del sistema de prueba

Red eléctrica:	230 KV
DFIG 1:	1.3 MW, 0.69 KV
DFIG 2:	1.3 MW, 0.69 KV
DFIG 3:	1.3 MW, 0.69 KV
DFIG 4:	1.3 MW, 0.69 KV
TRAFO A-B:	5 MVA, 0.69 KV/34.5 KV, 60 HZ
TRAFO B-C:	10 MVA, 34.5 KV/230 KV, 60 HZ
LÍNEA C-D:	0.1 + j0.3 Ω/km, longitud 10 km
LÍNEA D-E:	0.1 + j0.3 Ω/km, longitud 30 km
CARGA 1:	2.5 MVA

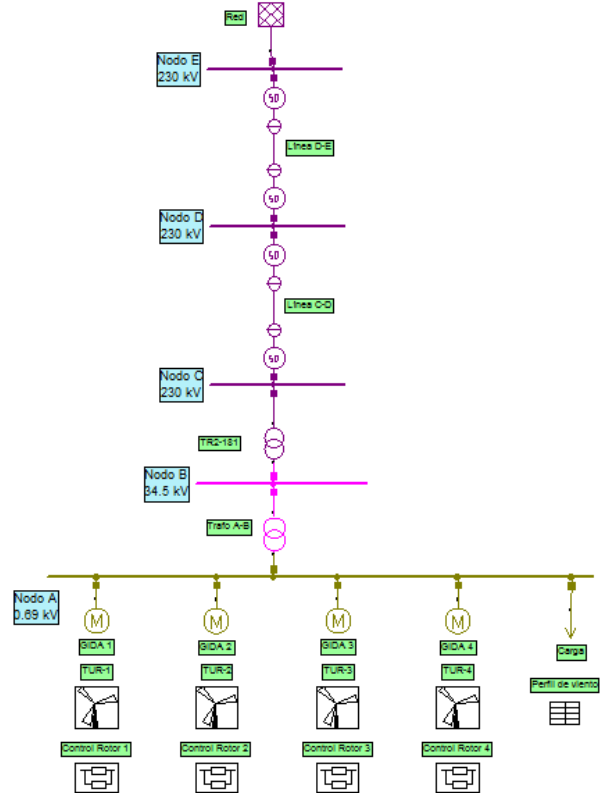


Figura 3. Sistema de prueba de 5 buses dibujado en software Neplan.

A. Caso de prueba1: Falla en el nodo C.

En este caso de prueba los relevadores que detectan la falla trifásica son RSC-DC y RSC-ED, los tiempos en los que actúan son diferentes debido a que uno funciona como respaldo a pesar de que la corriente de corto circuito que pasa por las líneas es la misma (10.058 kA), en este caso, el relevador de respaldo es el situado en el nodo E. La figura 4 y 5 muestran las gráficas correspondientes a cada relevador que actúan para la falla en el nodo C.

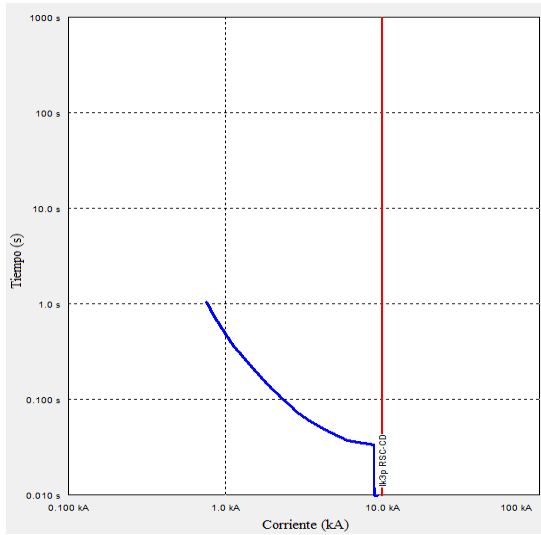


Figura 4. Gráfica RSC-DC con falla en el nodo C.

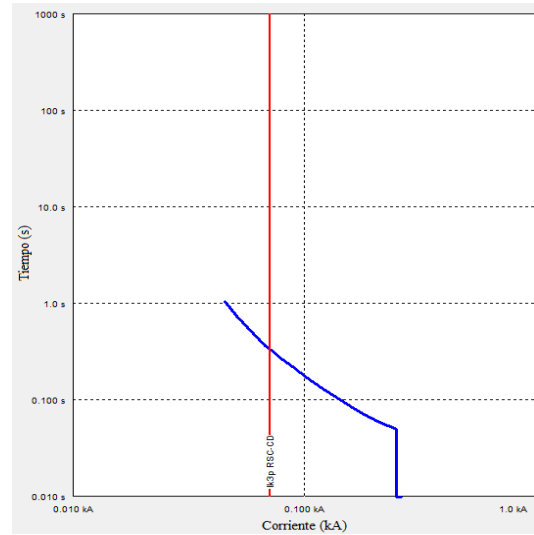


Figura 6. Gráfica RSC-CD con falla en el nodo D.

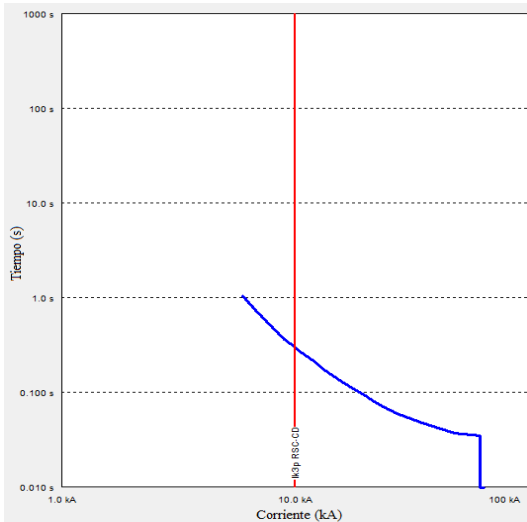


Figura 5. Gráfica RSC-ED con falla en el nodo C.

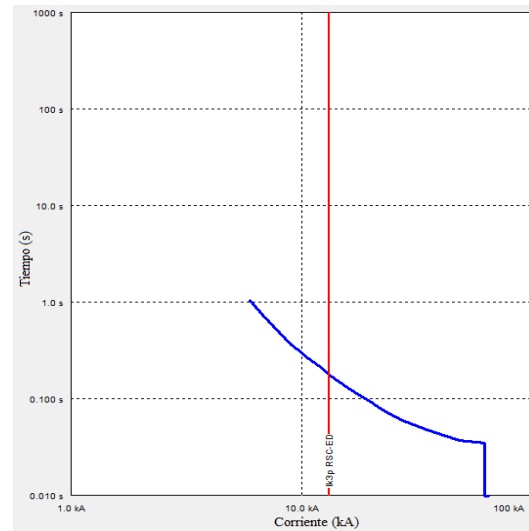


Figura 7. Gráfica RSC-ED con falla en el nodo D.

B. Caso de prueba II: Falla en el nodo D.

En este caso de prueba los relevadores que detectan la falla trifásica son RSC-CD y RSC-ED, los tiempos en los que actúan son diferentes debido a que la configuración de cada uno es diferente debido a los niveles de corriente que pasan por las líneas en donde se encuentran situados cada relevador. La figura 7 y 8 muestran las gráficas correspondientes a cada relevador que actúan para la falla en el nodo D.

C. Caso de prueba III: Falla en el nodo E.

En este caso de prueba los relevadores que detectan la falla trifásica son RSC-DE y RSC-CD, los tiempos en los que actúan son diferentes debido a que uno funciona como respaldo a pesar de que la corriente de corto circuito que pasa por las líneas es la misma (0.070 kA), en este caso, el de respaldo el relevador situado en el nodo C. La figura 8 y 9 muestran las gráficas correspondientes a cada relevador que actúan para la falla en el nodo E.

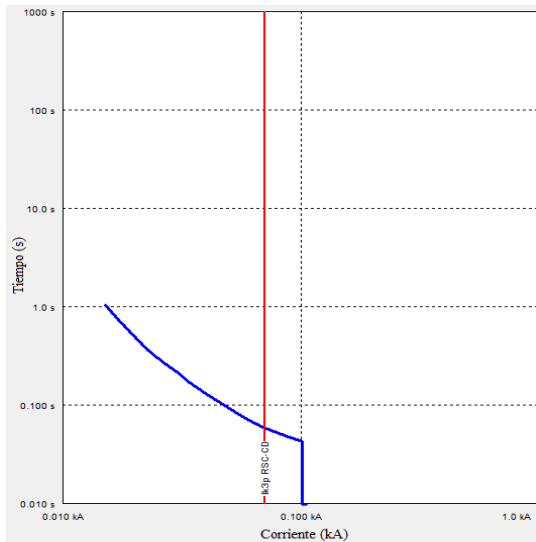


Figura 8. Gráfica RSC-DE con falla en el nodo E.

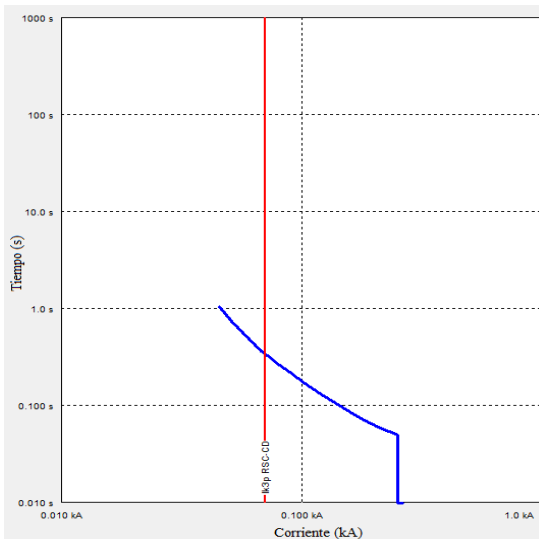


Figura 9. Gráfica RSC-CD con falla en el nodo E.

VI. CONCLUSIONES

Las configuraciones de todos los relés son diferentes debido a los diferentes niveles de corrientes que pasan por las líneas cuando ocurre alguna falla. No se toman en cuenta las fallas en los nodos A y B debido a que tendríamos problemas con la configuración de los relés. Entre más cercas sea la falla a la fuentes mayor será la corriente. Para los tres casos de prueba existe una carga en el Nodo A, aunque la simulación se pudo haber hecho sin ella y la configuración de los relés hubiera quedado igual.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a CONACYT, DGEST y al Instituto Tecnológico de la Laguna por las facilidades otorgadas y por el apoyo económico para realizar este trabajo.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Paul C. Krause, Oleg Wasynczuk y Scott D. Sudhoff (2002). "Analysis of Electrica Machinery and Drive Systems," 2nd ed. Mohamed E. El-Hawary, Series Editor.
- [2] O. Anaya-Lara, Nick Jenkins, Janaka Ekanayake, Phill Cartwright y Mike Hughes (2009). "Wind Energy Generation: Modelling and Control" 1st ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] J. F. Manwell and J. G. McGowan, A. L. Rogers (2009). "Wind Energy Explained Theory, Desing and Application" 1st ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- [4] Paul Gipe (2004). "Wind Power Renewable: Energy for Home, Farm and Business" White River Junction, Vt: Chlsea Green Pub.
- [5] Tony Burton, Nick Jenkins, David Sharpe y Ervin Bossanyi (2011) "Wind Energy: Handbook" 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- [6] Thomas Ackermann (2012). "Wind Power in Power Systems" 1st ed. John Wiley & Sons Ltd.
- [7] Siegfried Heier (2003). "Wind Energy Conversion Systems". John Wiley & Sons Ltd.
- [8] C. Russell Mason, (2007). "The art and science of protective relaying" 1st ed. Wiley, 1956.
- [9] J. Lewis Blackburn (1998). "Protective relaying: principles and applications" 2nd ed. Marcel Dekker.
- [10] Stanley H. Horowitz, Arun G. Phadke (2008). "Power System Relaying" 3rd ed. Jhon Wiley & Sons Ltd.
- [11] M. M. Saha, J. Izykowski, E. Rosolowski (2010). "Fault Location on Power Networks". Springer-Verlag London Limited.
- [12] Arun G. Phadke, James S. Thorp (2009). "Computer Relaying for Power System" 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd.
- [13] Christophe Prévé (2006). "Protection of Electrical Networks" 1st ed. ISTE Ltd.
- [14] IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Std 242-1986.
- [15] P. M. Anderson (1999). "Power System Protection". IEEE Press., McGraw-Hill.
- [16] G. Boyle (2000). "Renewable Energy: Power for Sustainable Future". Oxford University Press.
- [17] D. Uthitsunthorn, T. Kulworawanichpong (2010). "Distance Protection of a Renewable Energy Plant in Electric Power Distribution Systems" presented at 2010 International Conference on Power System Technology.

IX. BIOGRAFÍA



J. J. Muñoz Avalos. Nació en Torreón Coahuila, México; el 10 de Marzo de 1988. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna en 2011. Actualmente cursa el tercer semestre de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, especialidad en Ingeniería de Potencia en el Instituto Tecnológico de la Laguna.

Tiene como experiencia profesional trabajos en Iberdrola Energía de la Laguna y Comisión

Federal de Electricidad. . Sus áreas de interés son las energías renovables y las protecciones de los sistemas eléctricos de potencia.

El Ing. Muñoz pertenece a IEEE número de miembro 92660307, ha participado en Foros Académicos 2009 y 2010 organizados por el IITL.

El Ing. J. J. Muñoz ha participado con artículos en la Reunión Internacional de Verano 2014 ISBN: 978-607-95630-6-6 y CONAEE 2014 ISBN: 978-607-96071-2-8.

Email: javis10_3@hotmail.com



Marco Antonio Arjona López. Nació en Santa María, Tepic, Nayarit, México; el 13 de junio de 1966. Ingeniero Eléctrico egresado del Instituto Tecnológico de Durango en 1988 en la ciudad de Durango, Durango, México. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en 1990 en Torreón, Coahuila México. Obtuvo el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Eléctrica por el

Imperial College of Science, Technology and Medicine en Londres, Inglaterra en 1996.

Él actualmente forma parte de la planta académica del posgrado en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus áreas actuales de investigación son máquinas eléctricas y energías renovables.

El Dr. Arjona es reconocido por Sistema Nacional de Investigadores como investigador desde el año de 1992. En el año 2008, le otorga la distinción de Investigador Nacional Nivel II, gracias a los trabajos de investigación. Además, pertenece a la IEEE como senior member del año 2008 a la fecha.

Email: marjona@ieee.org



Carlos Alberto Morales Bazán. Nació en Torreón, Coahuila, México; el 25 de Marzo de 1969. Egresado de la carrera de Ingeniería Industrial en Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna en 1990. En 2012 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de la Laguna.

Él tiene experiencia en el área de instalaciones eléctricas tanto residencial, comercial e

industrial. También ha trabajado como supervisor de mantenimiento electromecánico. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico de la Laguna en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Sus áreas de interés son las de Protecciones en los sistemas eléctricos de potencia, Máquinas y redes eléctricas.

El M.C Morales ha participado con artículos en la Reunión Internacional de Verano RVP-AI 2012 de la IEEE realizado en Acapulco Guerrero México. 2012. ISBN 978-607-95630-2-8 y en CONAEE 2013.C.

Email: camb70@hotmail.com