

## **El Manejo Integral de la Corrosión en el Ciclo de Vida de los Activos para el Transporte de Energía**

**J. Maya- Montoya**

**INTERCOLOMBIA S.A E.S.P. Calle 12 Sur # 18-168 – Medellín, Colombia**

### **Resumen**

En el desarrollo de este trabajo se muestra como al hacer un manejo integral de la corrosión, metodología denominada “MIC” y diseñada en INTERCOLOMBIA para el resto de filiales del Grupo ISA, se establecen prácticas, estrategias y procedimientos en todo el ciclo de vida de los activos, buscando mejorar el desempeño de los equipos utilizados para el transporte de energía en los diferentes países donde tiene presencia el Grupo ISA. Se explica la forma en la que la metodología aporta en cada una de las etapas del ciclo de vida de los activos al punto de modificar o mejorar diseños, adoptar nuevos procedimientos de montaje e incluir actividades de mantenimiento rutinarias que aseguran la confiabilidad del servicio de transporte de energía.

Finalmente, este trabajo muestra algunos logros técnicos y económicos que han aportado al posicionamiento del Grupo ISA como una empresa referente a nivel internacional en el transporte de energía.

### **Introducción**

Las subestaciones eléctricas y las líneas de transmisión de energía son activos vitales para los sistemas de transmisión de energía de cualquier país en el mundo; de su integridad y buen desempeño depende la confiabilidad en el suministro de energía para todos los usuarios. Desafortunadamente los equipos que componen estos activos no están libres de sufrir ataques corrosivos al estar instalados en diferentes atmosferas a lo largo y ancho de la geografía de los países; de hecho, los activos se verán afectados en mayor o menor medida de acuerdo con la agresividad corrosiva de las atmósferas o de las precauciones tomadas en cada una de las etapas del ciclo de vida de los mismos. Siempre debemos tener presente que la corrosión es la causa principal del deterioro y destrucción de la mayoría elementos fabricados por el hombre.

El escaso conocimiento del fenómeno de la corrosión en muchas de las compañías del Sector Eléctrico hace que en ocasiones la falla de los activos por la acción de la corrosión sea entendida como una situación normal e inevitable, derivando en actividades de mantenimiento poco efectivas o en ocasiones de muy alto costo económico. La idea de hacer un manejo integral de la corrosión (metodología MIC), nace entendiendo el fenómeno de la corrosión y buscando agregar valor a la compañía en cada una de las etapas del ciclo de vida de los activos.

Sin lugar a dudas la etapa más crítica del ciclo de vida de los activos instalados en zonas con algún nivel de agresividad corrosiva en la que participa la metodología MIC es la creación, y específicamente en la elaboración del OPEX y

el CAPEX de un proyecto; para aportar en estos, es necesario conocer las características de agresividad corrosiva de las zonas en la que van a ser instalados los componentes de líneas y subestaciones eléctricas, con este conocimiento se definen diseños especiales, se determinan materiales y características específicas, se consideran estrategias de mantenimiento, así como se consideran tiempos reales para la reposición y disposición final de equipos deteriorados por la corrosión. Juegan también un papel determinante en esta etapa los equipos de abastecimiento, pues de ellos depende en gran medida la base de los valores de referencia utilizados para la construcción de los presupuestos de los proyectos. También dentro de la etapa de creación del activo está la construcción o montaje de los equipos, instancia crítica donde la falta de precaución o desconocimiento del fenómeno de la corrosión genera la mayoría de los problemas en los componentes de las líneas de transmisión de energía y equipos de subestaciones eléctricas. Los cuidados y aportes que se hacen en el montaje de los proyectos determinan en gran medida el buen desempeño de los activos en el tiempo.

En principio, el aporte del MIC en la etapa de operación del ciclo de vida de los activos parece ser muy poco; sin embargo, cuando surgen problemas de corrosión que demandan controles operativos especiales, los aportes de la etapa de la operación se vuelven determinantes en la vida remanente y el nivel de confiabilidad de los activos.

La importancia de la etapa del mantenimiento en el ciclo de vida del activo está casi a la par con la etapa de creación y es donde el nivel de conocimiento del fenómeno de la corrosión adquiere mayor relevancia. Un mal reporte de campo o una mala interpretación de la información recibida, puede generar una falla catastrófica en el sistema o en el mejor de los

casos, obligar a realizar mantenimientos no programados de emergencia con sobre costos importantes para las compañías.

Con la etapa de renovación y disposición final se cierra el ciclo de vida de un activo y es en este punto donde nuevamente debemos poner en práctica el conocimiento sobre los efectos de la corrosión en nuestros equipos; en esta etapa validamos lo proyectado desde la etapa de la creación de los activos, donde eventualmente fenómenos como “el fenómeno del niño” o “el fenómeno de la niña” pueden acelerar o retrasar el deterioro por corrosión de los equipos o componentes de activos. A la etapa final del ciclo de vida de los activos se debe llegar con un plan previsto desde la etapa de creación, se debe visualizar y garantizar que cualquier activo o componente de este sea dispuesto adecuadamente y de manera amigable con el medio ambiente al término de su vida útil.

Los beneficios del MIC se evidencian en cada una de las etapas del ciclo de vida de los activos; en el documento se muestran algunos impactos técnicos y económicos, así como algunas de las estrategias definidas para lograr un mejor desempeño de los principales componentes de líneas de transmisión de energía y de equipos de subestaciones eléctricas.

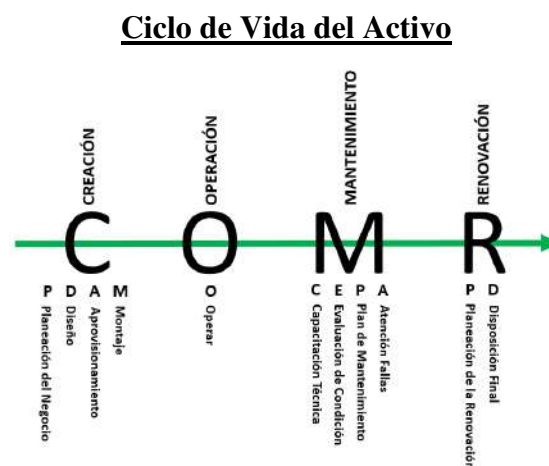


Fig. 1. Ciclo de vida de los activos

El ciclo de vida de un activo es toda

consideración que tiene que ver con el activo desde el mismo momento en el que se le estima desde un anteproyecto, hasta su renovación y disposición final como equipo para reciclaje ó como material de desecho.

**El Manejo Integral de la Corrosión “MIC”  
en la Etapa de Creación del Activo**

En términos de corrosión, la estabilidad y resistencia al desgaste de una infraestructura está en función de las condiciones del entorno en el cual se encuentre ubicada.

Un enfoque práctico de esta condición es la identificación de los tipos de ambientes, la valoración de su nivel de agresividad y de su influencia sobre los procesos corrosivos en los diferentes materiales que se utilizan; para efectos prácticos, el Grupo ISA ha definido ocho macroambientes de acuerdo con la cercanía del mar como se muestra en la siguiente figura.

NIVELES DE AGRESIVIDAD CORROSIVA DE LAS ATMÓSFERAS	DISTANCIA AL MAR ( Km. )
Extremadamente Severo	0 - 5
Muy Severo	5 - 10
Severo	10 - 15
Muy Alto	15 - 20
Alto	20 - 25
Levemente Alto	25 - 30
Moderado	30 - 50

Fig. 2. Niveles de agresividad corrosiva de las atmósferas con respecto a la distancia del mar.

Se debe tener presente que podemos tener activos en un mismo nivel de agresividad corrosiva (misma distancia al mar), pero que por particularidades ambientales, se pueden presentar velocidades diferentes de corrosión en los componentes de los activos.

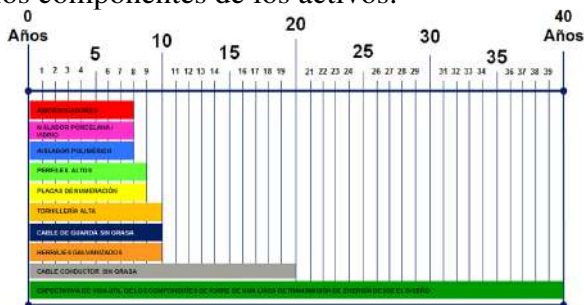


Fig. 3. Expectativa de vida útil de componentes de torres en una atmósfera extremadamente severa.

Conocer la expectativa de vida de los componentes críticos de los activos desde la etapa de creación es vital para una buena planeación de las inversiones en el tiempo; una manera práctica y sencilla de hacerlo es basándose en la experiencia de cambios anteriores; un buen ejemplo de esto es el cambio del aislamiento de una línea de transmisión de energía afectado por la corrosión, teniendo una expectativa de vida útil de estos elementos podemos programar desde la planeación del negocio los costos para la compra de repuestos, el año de desconexión de los circuitos y los recursos necesarios para realizar el cambio masivo de estos elementos.



Foto 1. Descarte masivo de aisladores corroidos desmontados de una línea de transmisión de energía.

Como ya se ha dicho, la exposición a las atmosferas corrosivas es uno de los principales factores de degradación de los activos utilizados para el transporte de energía y una de las mejores prácticas para enfrentar esta situación es haciendo estudios e investigaciones específicos buscando mejorar el desempeño de los principales componentes de los activos. En este sentido, el Grupo ISA ha venido realizando investigaciones con las que ha logrado por ejemplo identificar recubrimientos anticorrosivos especiales de costos moderados para aumentar la expectativa de vida de las torres de transmisión de energía y pórticos de subestaciones eléctricas; investigaciones que le ha permitido también identificar una aleación de acero inoxidable (Dúplex 2205), para considerar en el diseño y fabricación de herrajes que se utilizan tanto en subestaciones eléctricas

como en las líneas de transmisión de energía ubicadas en zonas de alta agresividad corrosiva.



Foto 2. Herrajes de una línea de transmisión de energía afectados por la corrosión.

Otra innovación importante producto de las investigaciones y que hoy se considera en el Grupo ISA desde la etapa de la creación del activo, es la adquisición de aisladores poliméricos de alto desempeño; esto es, aisladores poliméricos a los que se le aplica una capa de goma silicónica y se solicitan con los terminales en acero inoxidable Dúplex 2205.

Este tipo de aislador ofrece una expectativa de vida superior a 30 años en las condiciones más agresivas, mientras que en los aisladores poliméricos convencionales, la expectativa de vida no supera los 10 años.

De igual manera ocurre con los activos de subestaciones eléctricas; por ejemplo, las cada vez más utilizadas subestaciones eléctricas encapsuladas (GIS, por sus siglas en inglés), con estos equipos se debe tener especial cuidado cuando son instalados en zonas de alta agresividad corrosiva, más cuando algunos fabricantes ofrecen estos equipos con diferencias técnicas y de costo relativamente pequeñas entre un equipo a instalar en un recinto cerrado y otro para ser instalado a la intemperie en una atmosfera corrosiva. Dado que estos equipos están presurizados con un gas extremadamente contaminante como es el SF<sub>6</sub> (1 kg de SF<sub>6</sub> equivale a 23.4 toneladas de CO<sub>2</sub>), y que además constan de una gran cantidad de componentes, estos equipos deberán fabricarse con materiales diseñados para soportar las atmosferas corrosivas para evitar así generar fallas catastróficas.



Foto 3. Subestación Encapsulada “GIS” a 500 kV. instalada a intemperie.

La diferencia en costos y características técnicas de los componentes de una GIS diseñada para trabajar en un recinto cerrado respecto a otra diseñada para trabajar a la intemperie en una atmosfera corrosiva debe ser significativa; si algún fabricante nos ofrece estos equipos con poca diferencia en precios, debemos estar alerta y solicitar información técnica detallada sobre lo que nos están ofertando.

En la eventualidad de evaluar la posibilidad de instalar una GIS a la intemperie en una atmosfera corrosiva, tanto el área de diseño como el área de aprovisionamiento deberán tener especial cuidado; el área de diseño deberá definir las características técnicas necesarias para el buen desempeño de los componentes del equipo en una atmosfera corrosiva y el área de aprovisionamiento deberá asegurarse de que el proveedor entienda cada una de las características constructivas definidas en el diseño para que estas sean consideradas en su cotización. En la planeación del negocio se toman decisiones que pueden determinar el éxito o el fracaso de un proyecto.

No menos importante deben ser los cuidados que debemos tener en la etapa de construcción de los proyectos; suele ocurrir que en esta etapa no se tenga en cuenta algunas de las recomendaciones del diseño, un ejemplo simple

es la no utilización de placas bimetálicas para evitar procesos corrosivos como el par galvánico en las conexiones de los equipos de subestaciones; es un pequeño detalle que generalmente si no se hace, obliga a realizar desconexiones de emergencia con las consecuencias técnicas, económicas y de reputación que esto pudiera generar a las compañías.

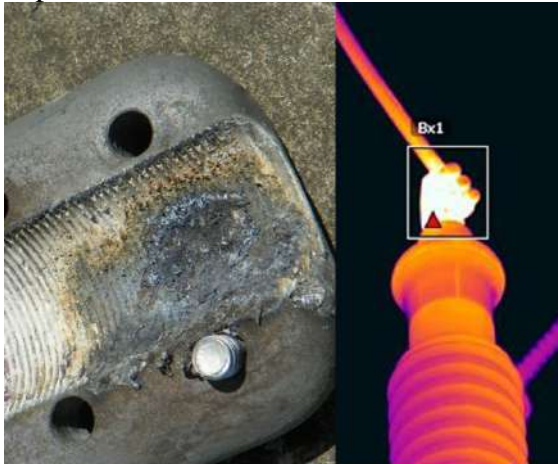


Foto 4. Sobrecalentamiento por Par Galvanico en la Conexión de un Equipo de una Subestación Electrica.

También ocurren errores de construcción en las líneas de transmisión de energía, que si bien no generan desconexiones de emergencia, corregirlos genera costos económicos bastante importantes, muestra de esto es la utilización de material contaminado con sales en la construcción de cimentaciones de las torres en zonas costeras.



Foto 5. Cimentación de concreto deteriorada por la corrosión al utilizar material contaminado con sales.

Es muy importante prestar la debida atención a

los controles durante la etapa de construcción de los proyectos; los problemas de corrosión en los activos no se hacen evidentes inmediatamente después de terminada la construcción o en el corto plazo, solo con el paso del tiempo se hacen visibles y generalmente traen consigo problemas operativos o altas inversiones económicas no previstas.

### **El Manejo Integral de la Corrosión “MIC” en la Etapa de Operación del Activo**

Existen procesos corrosivos que pueden generar fallas graves o limitar en alguna medida la capacidad operativa de los activos en las líneas de transmisión de energía y subestaciones eléctricas; ejemplo de esto en las líneas de transmisión de energía es el deterioro que sufren los cables conductores desnudos cuando son instalados en zonas corrosivas, en este caso específico y cuando el cable ya muestra afectación, el MIC recomienda sustraer muestras del cable conductor para evaluar la capacidad de carga mecánica remanente y las pérdidas de energía eléctrica. Los resultados definirán el nivel máximo de corriente a transmitir por el circuito y la vida remanente de los cables conductores para su renovación.



Foto 6. Cable conductor de energía afectado interna y externamente por la corrosión.

Los activos de subestaciones eléctricas tampoco están exentos de sufrir los efectos de la corrosión que condicionan su operación; los reactores y transformadores de energía con aceites refrigerantes corrosivos demandan procedimientos predictivos durante su operación como son las mediciones del

contenido de sulfuros corrosivos y del nivel de deposición de sulfuros de cobre ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ).

El resultado de estos monitoreos también definen los tiempos de operación del equipo y los niveles máximos de carga para reducir la temperatura en el aceite dado que este es un factor determinante en la severidad del problema.



Foto 7. Toma de muestra de aceite para control de sulfuros corrosivos.

### **El Manejo Integral de la Corrosión “MIC” en la Etapa de Mantenimiento del Activo**

La primera recomendación del MIC en la etapa del mantenimiento de los activos es evaluar la calidad y la necesidad real de los procedimientos de mantenimiento que se tienen definidos en la compañía para mitigar la corrosión; es común encontrar que se realizan actividades de mantenimiento con frecuencias inapropiadas ó que ofrecen soluciones costosas y poco efectivas.

Luego se debe definir los criterios de evaluación y calificación de condición por corrosión de los componentes de las líneas de transmisión y subestaciones eléctricas. Estos deben cumplir con dos objetivos básicos, indicar claramente el riesgo de falla de los componentes críticos y que sean de fácil comprensión por parte del personal ejecutor de mantenimiento. Una forma práctica de ayudar al personal de mantenimiento es

utilizando patrones fotográficos como los que se muestran en la siguiente figura.



Figura 4. Patrones fotográficos de condición por corrosión en componentes de líneas y subestaciones.

En la etapa de mantenimiento el MIC también recomienda realizar con la periodicidad necesaria, la capacitación del personal en los siguientes temas específicos:

1. Principios básicos de la corrosión, identificación y comprensión de los tipos de corrosión más comunes o de mayor ocurrencia en los activos de líneas de transmisión de energía y subestaciones eléctricas.
2. Criterios de evaluación y calificación de condición por corrosión de los componentes de activos de líneas de transmisión de energía y subestaciones eléctricas.
3. Mejores prácticas de mantenimiento para mitigar la corrosión en los activos de líneas de transmisión de energía y subestaciones eléctricas.

Realizada la capacitación del personal, se debe ejecutar la evaluación y calificación de la condición por corrosión de los activos de la compañía; los evaluadores además de identificar el componente afectado, deberán calificar su condición de acuerdo con los criterios de riesgo de falla definidos previamente con la metodología MIC.

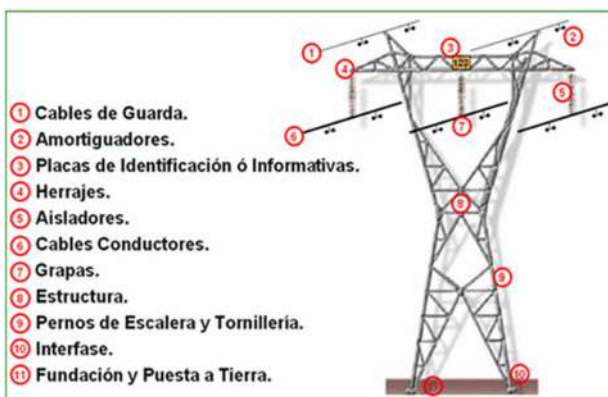


Figura 5. Esquema utilizado en capacitación de corrosión para identificación de componentes de torres.

Terminada la evaluación de la condición de los activos, se continúa con la definición de acciones de mantenimiento; aquí se analiza toda la información recopilada en campo, se decide el tipo de actividad a realizar y se definen los procedimientos de mantenimiento específicos a ser aplicados. Es común que de las evaluaciones se derive una gran cantidad de problemas de corrosión que difícilmente podrán ser atendidos simultáneamente; por esto, el MIC recomienda programar las actividades de acuerdo con la condición de los activos, la programación debe hacerse de acuerdo con la magnitud del problema y a la criticidad del activo dentro del sistema.

La elaboración de los planes de inversión y programación de los mantenimientos, es sin duda, una de las actividades más importantes en la etapa del mantenimiento, dado que permite a las compañías proyectar sus flujos de caja en el tiempo y de paso, minimizar el riesgo de falla de los activos afectados por la corrosión.

Cuando una compañía transportadora de energía entiende el cómo y porqué el fenómeno de la corrosión afecta sus activos, indiscutiblemente podrá optimizar costos significativos con la aplicación de procedimientos anticorrosivos efectivos y oportunos, evitando así poner en riesgo la continuidad y calidad del servicio por la falla de elementos corroídos.

Evidencia de esto es el caso de 410 kilómetros de cable de fibra óptica del tipo “OPGW” instalados en líneas de transmisión de energía en Perú, donde su expectativa de vida útil se redujo de 20 años a cerca de 10 años debido al deterioro acelerado por corrosión; realizado el análisis de acuerdo con los criterios definidos en la metodología MIC, se determinó realizar un procedimiento correctivo de bajo impacto técnico y económico, con un costo de US 2100 y una inversión total esperada para los 410 kilómetros inferior a US 430.500, recuperando así la expectativa de vida útil de 20 años estimada desde el diseño.

Este caso es importante mencionarlo debido a que de no existir la alternativa propuesta por la metodología MIC, la reposición de los 410 kilómetros de este cable, estaba estimada en cerca de US 6'000.000 sin considerar los tiempos de desconexión y el impacto operativo de los circuitos fuera de servicio mientras se realizarían los cambios del cable OPGW.

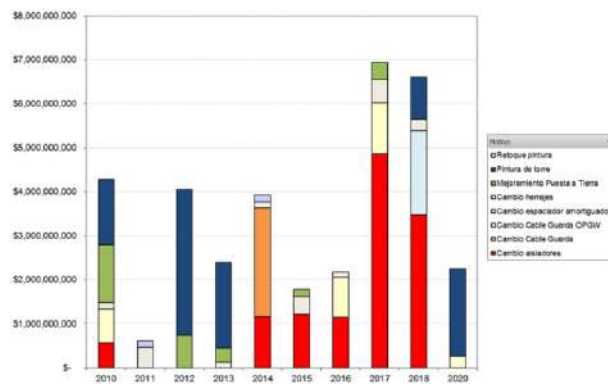


Figura 6. Plan de inversiones a largo plazo en líneas de transmisión para mitigar la corrosión.

### **El Manejo Integral de la Corrosión “MIC” en la Etapa de Renovación del Activo**

Para determinar la renovación de activos o componentes de activos en las líneas de transmisión de energía y subestaciones eléctricas, el MIC recomienda utilizar la metodología de índices de salud, donde a través del monitoreo de variables de deterioro por componentes, se establece una estimación del tiempo en que debe ser reemplazado. Para determinar las inversiones, los activos son

jerarquizados por su importancia para el negocio acorde con la metodología de criticidad de activos.

Para el proceso de disposición final de los activos o componentes de activos, el MIC recomienda un procedimiento con base en criterios técnicos y económicos; de forma general, los elementos que se deben dar de baja son:

1. Los activos que por su nivel de afectación por corrosión no dan garantía para la prestación adecuada del servicio de transporte de energía.
2. Los repuestos y componentes de activos desmontados que no sea posible reparar, sean obsoletos o que su condición por corrosión no garantice la prestación adecuada del servicio de transporte de energía.
3. Los repuestos y materiales que se encuentran en los almacenes y que por su deterioro, obsolescencia o deterioro por corrosión ya no sean aptos para la prestación del servicio.

Una vez el activo o componente de activo cumple con cualquiera de las anteriores condiciones, se debe dar su baja a estos elementos y se debe proceder a su disposición final de acuerdo con las características constructivas de los elementos y a la legislación ambiental vigente correspondiente.

### Resultados Obtenidos

El hacer un manejo integral de la corrosión considerando el ciclo de vida de los activos le ha permitido a INTERCOLOMBIA S.A E.P.S, Filial del Grupo ISA en Colombia, posicionarse como empresa referente a nivel internacional en el mantenimiento de líneas de transmisión de energía.

En el referenciamiento ITOMS (International Transmission Operations & Maintenance Study), las compañías inscritas buscan medir y comparar el desempeño en términos de niveles de servicios y costos de la operación y el mantenimiento; en la figura 7., se presenta el resultado obtenido por INTERCOLOMBIA en el año 2017, donde el cuadrante superior derecho, corresponde con las empresas cuyas

prácticas redundan en un mejor desempeño del activo a menor costo.

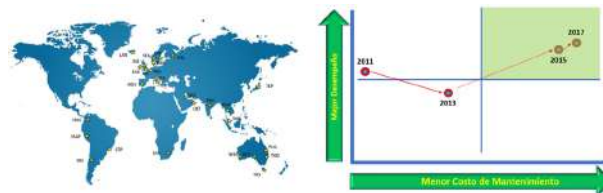


Figura 7. Resultados ITOMS 2017 para mantenimiento de líneas de transmisión ISA-INTERCOLOMBIA.

En la siguiente figura se detalla la evolución en los costos y el desempeño de las líneas de transmisión de energía de INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P desde el año 2011 y hasta el año 2017, donde el aporte del MIC ha sido fundamental y determinante en el buen desempeño técnico y económico de los activos.



Figura 8. Costo mto (Millones de pesos) vs tasa de fallas en cada 100 km. de línea INTERCOLOMBIA

### Hoja de Vida del Autor

#### **Juan Guillermo Maya Montoya**

Ingeniero Electromecánico, Universidad Antonio Nariño. Especialista en Sistemas Automáticos de Control, Tecnológico Pascual Bravo - Medellín.

Cargo actual: Especialista Gestión Equipos Líneas.

Dirección Mantenimiento – INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P. 30 años de servicio en el Grupo ISA.

[jmmaya@intercolombia.com](mailto:jmmaya@intercolombia.com)

Medellín, Antioquia, Colombia.

Móvil: +57 311 749 98 01.