

Los métodos potenciales como evidencia geofísica de la evolución tectónica del norte del Golfo de México

M. David Octavio Rocha Esquinca

Carlos Alberto Caraveo Miranda

Efraín Méndez Hernández

Edilberto Román Hernández Flores

Activo de Exploración Aguas Profundas Norte, Pemex

Información del artículo: Recibido enero 2012-aceptado febrero 2013

Resumen

La aplicación integrada de métodos potenciales regionales y de alta resolución en un sector de aguas profundas del occidente del Golfo de México, ha sido fundamental en la determinación de modelos geológicos, tipo de corteza, configuración del basamento, diferenciación sal-arcilla y documentación de prospectos. Beneficios adicionales incluyen el apoyo en la formulación de modelos densidad-velocidad para procesos PSDM como parte de un plan de mejora en el empleo óptimo de este tipo de datos, su unificación digital y la formación de especialistas.

Introducción

La aplicación de la gravimetría y magnetometría en la Exploración Petrolera de México se inició en el periodo de 1908-1938, donde el empleo de información geológica superficial, gravimetría y magnetometría fue determinante en el descubrimiento de yacimientos petroleros de la Faja de Oro terrestre (Cornejo, 1962), y 13 yacimientos de aceite relacionados a tectónica salina en el SE de México (Hurheim, 1926).

A partir de 1939 y hasta 1950, la integración de la información sísmica de reflexión, gravimetría, magnetometría y otra información geológica, apoyó al descubrimiento de los yacimientos petroleros de las cuencas de Burgos y de Veracruz. De 1950 a 1990, Pemex continuó adquiriendo datos potenciales en las provincias geológicas de interés económico-petrolero.

La evaluación del Potencial Petrolero de la porción Mexicana de la Cuenca del Golfo de México iniciada en la década de los 70's, se reactivó de 1991-2000, al adquirirse simultáneamente 30,000 km lineales de sismología 2D, gravimetría y magnetometría. Durante 2001-2003 se adquirió aeromagnetometría en la porción mexicana del Golfo de México. Actualmente, en la porción occidental

del Golfo de México, Pemex está adquiriendo sísmica 3D, gravimetría y magnetometría de alta resolución, que apoyarán los estudios de Evaluación del Potencial e Incorporación de Reservas del Proceso Exploratorio.

En este trabajo se describe un proyecto de mejora para el empleo de métodos potenciales en la porción occidental del Golfo de México, mostrándose algunas aplicaciones de la gravimetría y magnetometría en los estudios de Análisis de Cuencas, Sistemas Petroleros y Plays, que incluyen la interpretación de elementos estructurales del NE de México, la geometría del sistema paleotransformante activo durante la apertura del Golfo de México, así como de los límites y tipo de corteza, la morfología y profundidad del basamento.

Desarrollo

Antecedentes de la Información de Métodos Potenciales

La evaluación del potencial petrolero de la porción Mexicana de la Cuenca del Golfo de México, iniciada en la década de los 70's, se reactivó en 1991 al adquirirse 3,500 km de sismología 2D, gravimetría y magnetometría en la plataforma continental, cerca de la línea de costa, hasta la isobata de 200 m. En 1994 se adquirieron simultáneamente

10,000 km de sísmica 2D, gravimetría y magnetometría; en 1996 se observaron simultáneamente 6,000 km de sísmica 2D y gravimetría; en 1999 se observaron aproximadamente 10,500 km de sísmica 2D, gravimetría y magnetometría.

En 1998 se adquirió la gravimetría del Golfo de México, derivada de la altimetría medida por satélites (Méndez et al, 1998). Esta información, se empleó para orientar las adquisiciones sísmicas 2D, realizadas en años posteriores.

En 1999, para reconocer estructuras Synrift en la Cuenca Tampico–Misantla, cuya expresión gravimétrica corresponde a un mínimo gravimétrico (Hernández, 1998), se adquirieron datos de gravimetría y aeromagnetometría en la porción terrestre, transicional y marina.

En el año 2000, para interpretar las geometrías de minicuenas en la provincia geológica del Delta del Bravo se adquirieron, por medio de un barco, datos de gravimetría de alta resolución, simultáneamente con la adquisición sísmica 3D.

En 2001–2002, el Consejo de Recursos Minerales (ahora Servicio Geológico Mexicano SGM), con el objeto de fundamentar la evolución tectónica del Golfo de México, y apoyar los estudios de plays, adquirió aeromagnetometría en la porción Mexicana del Golfo de México.

Para identificar estructuras subsalinas, en costa afuera, durante el periodo 2008-2009, en la provincia de sal alóctona

del Golfo de México, se efectuaron dos adquisiciones de información en barco: en la primera se observaron 6,000 km lineales de información sísmica 2D, gravimetría y magnetometría, en la segunda, se observó sísmica 3D, gravimetría y magnetometría de alta resolución en una área de 10,000 km², representada por un polígono de color rojo, **Figura 2**.

Actualmente, en la porción occidental del Golfo de México, Pemex está adquiriendo en barco y en forma simultánea información sísmica 3D, gravimetría y magnetometría de alta resolución. Adicionalmente, en los convenios de Fondo Sectorial SENER-CONACyT-IMP, se están desarrollando proyectos donde se incluye la adquisición, proceso e interpretación de información de gravimetría gradiométrica para obtener modelos de densidad-velocidad de intervalo y como apoyo a los procesos sísmicos PSDM y en la interpretación de la sal alóctona.

Proyecto de mejora de la aplicación de gravimetría y magnetometría en la porción occidental del Golfo de México

La información gravimétrica y magnetométrica regional y de alta resolución se emplea en los estudios de análisis de cuencas, sistemas petroleros, plays y generación de localizaciones. La pendiente de la línea de color amarillo en la **Figura 1**, indica en forma gradual la aplicación de esta información en cada etapa del proceso exploratorio.

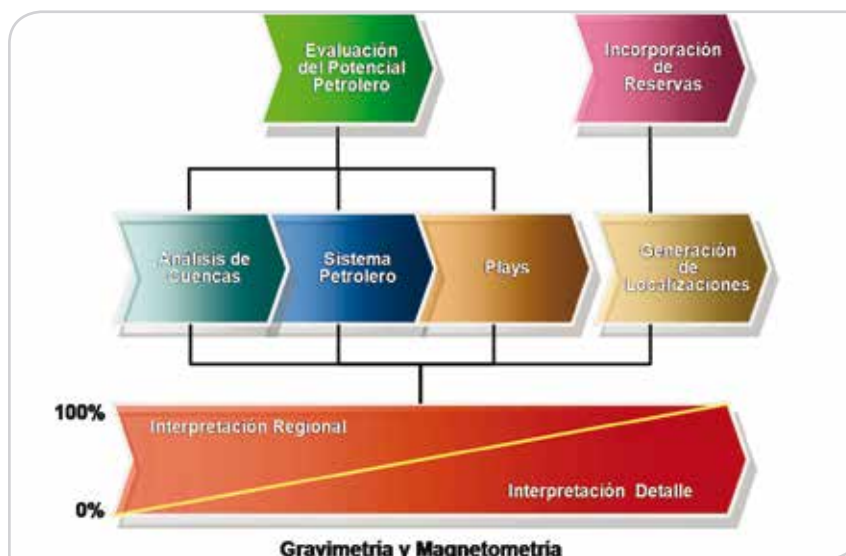


Figura 1. Aplicación de la información gravimétrica y magnetométrica.

Áreas de oportunidad

El análisis sobre la aplicación de datos potenciales en la porción occidental del Golfo de México hasta el año 2008, mostró una interpretación e integración de la información limitada de datos potenciales a los estudios de evaluación del potencial e incorporación de reservas, en la porción norte de la Cuenca del Golfo de México del AEAPN. De este análisis, a partir del 2009 se inició un proyecto de mejora en la aplicación de métodos potenciales.

Algunas áreas de oportunidad detectadas del análisis, incluyeron:

- El incremento de la aplicación limitada de datos y técnicas de métodos potenciales en el proceso exploratorio.
- Coadyuvar al conocimiento de la geología petrolera en áreas de frontera y/o de tectónica sal/arcilla y de actividad magmática.
- Interpretación integrada en áreas con sísmica 2D y 3D de baja relación señal/ruido.
- Obtener modelos de densidad-velocidad de intervalo para reducir las iteraciones del proceso PSDM.
- Incrementar el número de especialistas en la aplicación de métodos potenciales.
- Unificación de la información gravimétrica y magnetométrica de diversas campañas exploratorias.
- Programas y bases de datos obsoletos.

Aplicaciones en el análisis de cuencas, sistemas petroleros y plays

En este trabajo se integra la información de geología superficial, sísmica 2D, 3D, gravimetría, magnetometría, información geoquímica de núcleos de fondo marino, modelos sedimentarios y modelos estructurales, para interpretar los elementos tectónicos del NE de México, la geometría del sistema paleotransformante que originó la deriva del Bloque de Yucatán, el tipo de corteza y la geometría y profundidad del basamento en el Occidente del Golfo de México.

El conocimiento de la geología petrolera en tierra, adquirido durante más de 100 años de exploración, de los elementos tectónicos de la Cuenca de Burgos, Cuenca de Magigatzin, Arco de Tamaulipas, Cuenca Tampico–Misantla, Plataforma de Tuxpan, Cuenca de Veracruz y Plataforma de Córdoba, debe considerarse en los estudios de la plataforma continental y la Cuenca del Golfo de México.

Marco geológico

En el mapa de geología superficial del NE de México, mostrado en la **Figura 2**, (Servicio Geológico Mexicano), se observan afloramientos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, representados por diferentes colores. Las rocas ígneas extrusivas e intrusivas aflorantes, están asociadas a los arcos magmáticos desarrollados en el tiempo geológico (Damon et al 1981), enfatizando su actividad durante la orogenia Laramide.



Figura 2. Mapa geológico del NE México.

Las rocas metamórficas de edad del Paleozoico, corresponden al esquisto Granjeno y gneiss el Novillo que afloran al occidente de Ciudad Victoria Tamaulipas (Ortega, 1978). Estas rocas constituyen el núcleo del anticlinal Huizachal-Peregrina. Otro afloramiento de estas rocas metamórficas se encuentra en el anticlinal de Huayacocotla. Estas rocas (representadas por polígonos de color morado), se consideran el basamento cristalino de la columna geológica del NE de México.

Todos los cuerpos intrusivos detectados en la superficie están representados por polígonos de color rojo y se observan distribuidos en todo el mapa; las rocas extrusivas están representadas por polígonos de color naranja y destacan, por su extensa distribución, los derrames de andesitas y basaltos del Cinturón Volcánico Mexicano.

Al norte del mapa, las rocas ígneas extrusivas e intrusivas y aflorantes, muestran una dirección W-E y corresponden al Cinturón Candela-Monclova (CCM) de edad Terciario (Chávez G. 2005). Al Sur, de este alineamiento, al occidente de las Curvatura de Monterrey (CM) y de Villagrán (CV) se observa en superficie, otro alineamiento de ígneos intrusivos, que conforman de W-E el alineamiento El Oro (Hernández et al 2005). En la planicie costera, se observan otros conjuntos de rocas ígneas intrusivas que conforman las estructuras anticlinales de las sierras de San Carlos Cruillas y de Tamaulipas.

Las rocas sedimentarias del Terciario, corresponden a sedimentos depositados en sistemas fluviales de ambientes costeros, que depositaron turbiditas en el canal de Chicontepec, la plataforma continental, talud y Cuenca del Golfo de México. Los polígonos asociados a estas rocas tienen diferentes colores, representando con colores amarillos a las rocas del reciente, amarillo oscuro para las rocas del Plioceno-Pleistoceno, café claro para los terrígenos del Oligoceno y naranja-café oscuro para los terrígenos del Eoceno-Paleoceno.

Otras rocas sedimentarias son los carbonatos del Mesozoico, depositados en ambientes de plataforma, talud y cuenca. En el mapa geológico, los afloramientos de rocas del Jurásico, se muestran con polígonos de color

azul fuerte que varía a azul ligero, asociados a las rocas del intervalo del Jurásico Inferior hasta el Jurásico Superior, y las rocas del Cretácico, se muestran con polígonos de color verde que varía de claro a oscuro, representando el intervalo Cretácico Superior, Cretácico Medio y Cretácico Inferior.

Las rocas del Mesozoico que conforman la Sierra Madre Oriental (SMO), muestran un frente tectónico aflorante con extensión regional, que se reconoce en diferentes sectores (Aranda et al, 2008). En el norte, se observa un alineamiento de anticlinales alargados de NW-SE y angostos de W-E, ubicado al occidente del Golfo de Sabinas y de la cuenca de la Popa, más al SE se localizan las Curvaturas de Monterrey (CM) y de Villagrán (CV), los anticlinorios Huizachal-Peregrina (AHP) y de Huayacocotla (AH). Al Sur de la Cuenca Tampico-Misantla, en el Macizo de Santa Ana (MSA), los anticlinales deformados de la Sierra Madre Oriental están cubiertos por las rocas extrusivas del Cinturón Volcánico Mexicano, más al SE, este frente tectónico se ha interpretado sepultado al occidente de la cuenca de Veracruz, conformando el alineamiento de campos productores de aceite, denominado Lagarto-Nopaltepec.

Las rocas del Mesozoico de los anticlinorios Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla, representan actualmente cuencas invertidas características de una tectónica de piel delgada combinada quizás con una tectónica de piel gruesa (Horbury et al 2003). La tectónica de piel gruesa donde se involucra el basamento presenta ciertas estructuras como: pandeo en el basamento, fallas inversas que fueron normales y estructuras en flor.

Marco tectónico

En 1998, para la evaluación del potencial petrolero de la Cuenca del Golfo de México, Pemex-IMP realizaron la unificación digital de la información gravimétrica y magnetométrica de todas las adquisiciones realizadas por Petróleos Mexicanos, desde 1916 hasta 1994. En la **Figura 3** se muestran los mapas de la integración magnetométrica continuada a 600 msnm (izquierda) y de la unificación gravimétrica corregida, por el efecto isostático, (derecha).

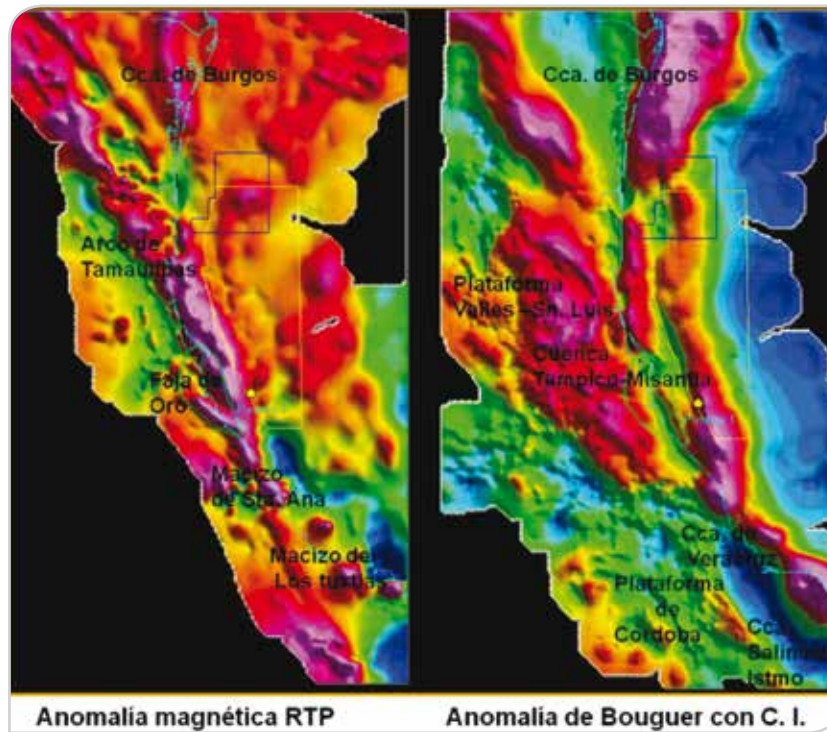


Figura 3. Anomalía magnética unificada reducida al polo (izquierda). Anomalia de Bouguer unificada y corregida isostáticamente. Elementos tectónicos del occidente del Golfo de México (derecha).

En estos mapas, de acuerdo a los alineamientos de las anomalías gravimétricas y magnetométricas, se interpretan cualitativamente los elementos tectónicos principales de la porción occidental de Cuenca del Golfo de México y que forman parte de la Megacuenca del Golfo de México:

- La Cuenca de Burgos, asociada a una expresión magnética en forma de “V”, cuyo **límite occidental de esta geometría está constituida** por el alto de Vaquerías donde el basamento es somero y la porción oriental está constituida por un alineamiento magnético, denominado alineamiento perdido asociado a bloques altos de basamento, donde se formó **el alineamiento estructural del Cinturón Plegado Perdido Mexicano**. La geometría de la Cuenca de Burgos, incluye las provincias geológicas de Burgos, Delta del Bravo, Cinturón Subsalino y Cinturón Plegado Perdido Mexicano, y explica por qué la influencia de la sal alóctona termina al sur del polígono color rojo y desde este lugar hasta el NE de la Cd. de Veracruz no existe tectónica salina. En este punto es donde se ha interpretado la sal de Campeche.
- El Arco de Tamaulipas es una estructura localizada al occidente de la Cuenca de Burgos, asociada a un alineamiento magnético con una longitud de más de 700 Km orientado de NW a SE. Esta estructura se inicia en el alto magnético de Villagrán, atraviesa el estado de Tamaulipas, se interna en la plataforma continental y continúa casi paralelo a la línea de la costa y termina en la porción sur de la Plataforma de Tuxpan. Este alineamiento estructural incluye el monoclin del arco de Tamaulipas (Goldhamer 1999, Goldhamer et al 2005), los altos magnéticos de Tamaulipas Constituciones, Arenque y Plataforma de Tuxpan.
- La Plataforma Valles–San Luis está asociada a un alineamiento magnético de geometría semicircular.
- La Faja de Oro está asociada a un alineamiento magnético similar a una faja, forma de la cual recibió su nombre. La anomalía gravimétrica residual define la geometría de la faja de Oro (Hernández et al, 2008).

- La estructura de la Cuenca Tampico-Misantla se desarrolló entre la Plataforma Valles-San Luis y la Faja de Oro. Gravimétricamente está representada por un alineamiento de máximos. En la porción terrestre se incluye el Canal de Chicontepec y en la porción marina la parte extensional del sistema Quetzalcoatl a nivel Terciario, para el Mesozoico en la porción marina se interpretan horizontes sísmicos, que se acuñan sobre altos de basamento pre existente y bloques de basamento reactivados.
- El Macizo de Santa Ana está asociado a un alto gravimétrico y magnetométrico, y constituye la porción más oriental del Cinturón Volcánico Mexicano. Esta estructura de basamento, se localiza al sur de la desembocadura del Canal de Chicontepec que bordea la Faja de Oro.
- La Cuenca de Veracruz tiene una expresión de un mínimo gravimétrico que está asociado a un espesor grande de terrígenos. En el eje de la cuenca se observa un alineamiento de máximos magnéticos, que se interpretan como la continuación de la falla Santa Ana-Aguila (paleotransformante del occidente del Golfo de México), por donde derivó el Bloque de Yucatán durante la apertura del Golfo de México.
- La plataforma de Córdoba está representada por un alineamiento de máximos gravimétricos, asociados al contraste lateral de densidad entre los terrígenos de la Cuenca de Veracruz y las calizas del frente tectónico sepultado de la plataforma de Córdoba (Hernández, 2006).
- El macizo de los Tuxtlas está asociado a anomalías gravimétricas y magnéticas positivas, este elemento estructural constituye la porción Oriental de la Cuenca de Veracruz.
- La Cuenca Salina del Istmo está asociada a un mínimo gravimétrico, asociado a las estructuras desarrolladas por la tectónica salina.

Sistema paleotransformante

Falla San Marcos, Falla Santa Ana–Aguila y Alineamiento Perdido

El conjunto de las fallas San Marcos, la Bavia y Mojave-Sonora, están consideradas como un sistema de fallas

transformantes activas durante la apertura del Golfo de México (Le Pichon, J. et al, 2008, Pindell et al 2002). En este trabajo, con la interpretación de la información sísmica 2D, 3D, gravimetría y magnetometría, se ha comprobado que estas fallas se han reactivado en el tiempo geológico.

De las tres fallas mencionadas, la traza de la falla San Marcos, se ha interpretado al sur del Golfo de Sabinas (Chávez G. 2005). En este trabajo, con la información de magnetometría y gravimetría, se interpretó la geometría del sistema paleotransformante por donde derivó el Bloque de Yucatán durante la apertura del Golfo de México. La geometría interpretada es parecida a la letra “Y”, **Figuras 4 y 5**, simulando la estructura de un punto triple.

El punto donde convergen las tres fallas se encuentra al sur del polígono de color rojo, cuya área aproximada es 10,200 km², y el 80% está cubierto por un gran dipolo magnético. Este dipolo puede estar asociado a un *hot spot* similar a los interpretados por Bird et al, 2005. Estas plumas del manto se caracterizan por que durante su emplazamiento se creó la suite ofiolítica, caracterizada por tener basaltos en su porción somera, seguida de un enjambre de diques de basalto y gabros en su parte profunda.

A partir de este gran dipolo magnético, las anomalías gravimétricas y magnetométricas cambian de dirección, **Figura 4**.

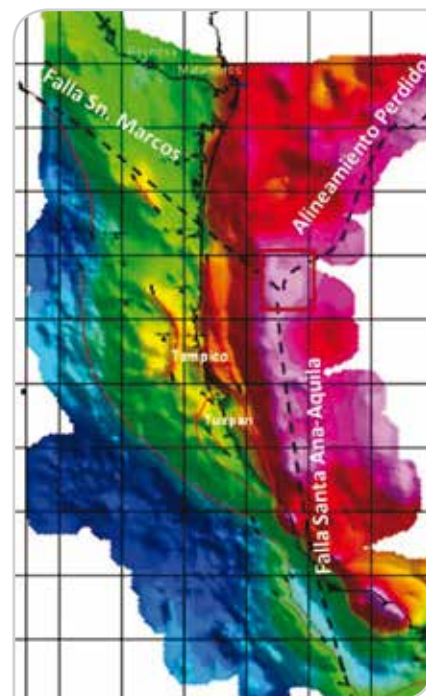


Figura 4. Anomalía de Bouguer.

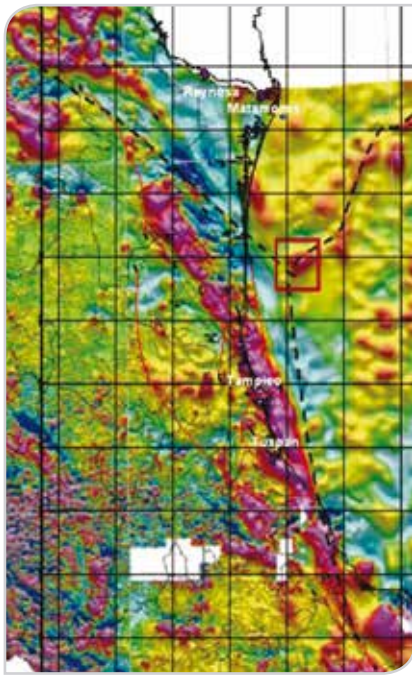


Figura 5. Anomalía magnética reducida la pogeometría en forma de “Y” del sistema paleotransformante por donde derivó el Bloque de Yucatán durante la apertura del Golfo de México.

Modelado cortical de transectos regionales, tipos de corteza y basamento

Tipo de corteza

En términos del tipo de corteza, se interpreta cualitativamente que durante la construcción de la Pangea se congregaron bloques de basamento de terrenos alóctonos (Campa y Coney, 1984); de esta manera se asume que en el Permo Triásico, en las áreas del NE de México y el Oeste del Golfo de México revistió una corteza continental. El basamento de esta corteza continental está constituido por un basamento ígneo-metamórfico, cuya estructura consiste de medios grabens, horst y grabens. La edad del Permo Triásico de las rocas de este basamento, se confirmó mediante los estudios radiométricos de los núcleos de los pozos perforados en el área de la estructura del Arco de Tamaulipas, que constituye la porción Occidental de la Cuenca de Burgos.

En el Jurásico Medio, el establecimiento del *hot spot* en la periferia del protogolfo (Bird et al 2005), incluyendo el área del polígono color rojo, produjo un calentamiento de la litósfera, dando como resultado que el contenido mineralógico de las rocas de la corteza continental de la Cuenca de Burgos y del Arco de Tamaulipas cambiara a rocas de una corteza continental a continental–transicional.

La escisión que provocó la apertura del Golfo de México, y consecuentemente el desprendimiento del Bloque de Yucatán que estaba localizado frente de las costas de Texas y Louisiana (Pindell 2002), y su deriva a lo largo de la trayectoria oriental de la “Y” definida por las anomalías gravimétricas y magnetométricas, produjo la corteza oceánica.

Por tanto, en esta interpretación cualitativa del tipo y límites de la corteza, se postula que la Cuenca de Burgos y el Arco de Tamaulipas tienen actualmente una corteza continental–transicional y el límite de la corteza oceánica corresponde a la porción oriental de la “Y”, **Figuras 4 y 5**.

Para definir cuantitativamente el tipo de corteza (en términos de la densidad y de la susceptibilidad magnética de las rocas que la constituyen), la geometría y profundidad del basamento en las provincias geológicas de Burgos, Salina del Bravo, Cinturón Plegado Perdido y porción norte del Cinturón Extensional Quetzalcoatl y Cordilleras Mexicanas, se modelaron nueve transectos regionales (tres en 2009 y seis en 2010).

- Hacia el NE definen el alineamiento magnético perdido, asociado a bloques altos de basamento donde se construyó el alineamiento estructural del Cinturón Plegado Perdido Mexicano.
- Hacia el NW, las anomalías magnéticas y gravimétricas están asociadas a la traza de la falla San Marcos. En esta misma dirección el basamento se hace somero conformando el límite tectónico de la plataforma del Jurásico Superior.
- El alineamiento de anomalías gravimétricas positivas con dirección norte-sur se inicia en el polígono rojo y terminan en el macizo de Santa Ana. Este alineamiento está asociado a la falla Santa Ana-Aguila. Las anomalías magnéticas positivas siguen la misma dirección hasta el macizo de Santa-Ana, continuando sobre el eje de la Cuenca de Veracruz hasta terminar en el macizo de Chiapas. La evolución tectónica del Golfo de México sugiere que el macizo de Chiapas estuvo frente a la Faja de Oro, y que este bloque derivó conjuntamente con el Bloque de Yucatán, desde ese lugar hasta su posición actual, (Pindell, 2002).

De los nueve transectos modelados, ocho corresponden a secciones regionales balanceadas y restauradas en el proyecto de Tectónica Salina, desarrollado en 2009 por la Subdirección Técnica de Exploración, el otro transecto se

interpretó localmente sin balancearlo ni restaurarlo. Los nombres de los modelos y su ubicación de N a S son: TSN1, TSN5, TSN7, TSN9, 9A, TSN15, TSN17, TSN19 y TSN21, **Figura 6**, parte superior.

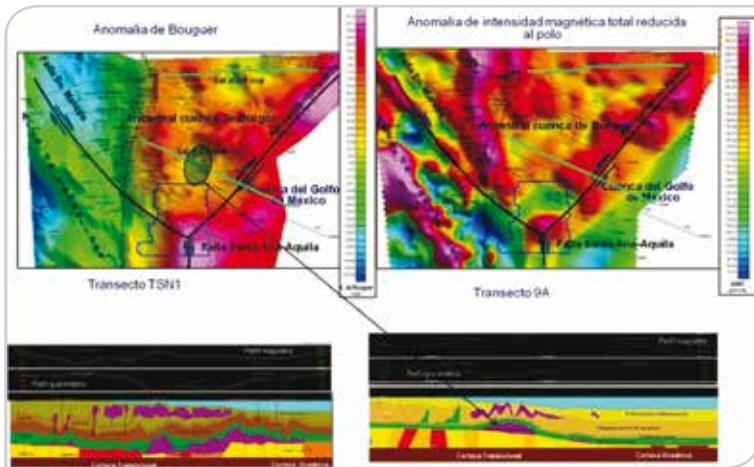


Figura 6. Mapas de métodos potenciales empleados en el modelado cortical de nueve transectos. De acuerdo al modelo de densidades, el transecto TSN1 está ubicado en la corteza transicional. Los bloques más al Oriente se encuentran en el dominio de la corteza oceánica.

La interpretación cuantitativa del tipo de corteza se logró al ajustar las curvas de la Anomalia de Bouguer y de intensidad magnética total, con la respuesta gravimétrica y magnetométrica del modelo cortical de densidad-susceptibilidad magnética de cada transecto. Biegert et al 2008 modelaron dos transectos localizados frente a la Faja de Oro, **Figura 7**, izquierda abajo, como resultado del modelado postularon la existencia de los límites de corteza continental y oceánica, separadas por una zona de deformación de los bloques de basamento. En el ajuste de la anomalía de Bouguer, propusieron que esta anomalía fue producida por un levantamiento de la superficie del

moho. En este trabajo, para definir los límites de la corteza y la geometría del basamento, se consideró la hipótesis de Biegert: que el levantamiento de la superficie del moho y deformación del basamento es un rasgo regional expresado por los alineamientos gravimétrico y magnetométrico. Estos alineamientos están asociados a la falla Santa Ana-Aquila, **Figura 7**. La interpretación integrada de sísmica 2D, 3D, gravimetría y magnetometría, demostró que esta falla corresponde a una falla de desplazamiento lateral derecho, con una componente inversa. Por el alcance estratigráfico de la deformación producida, se asume su reactivación en el periodo Terciario.

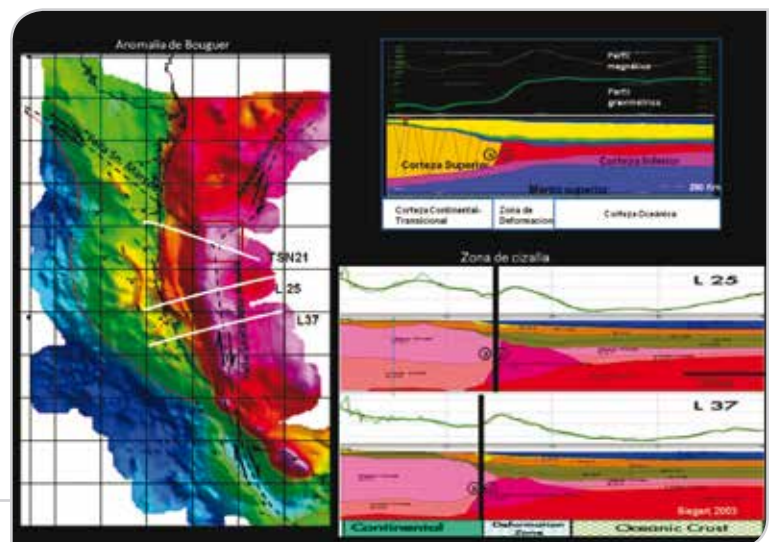


Figura 7. Modelos corticales para interpretar la traza de la falla Santa Ana-Aquila.

En las **Figuras 6 y 8** se muestran los mapas de la Anomalía de Bouguer y de Anomalía magnética reducida al polo empleados en el modelado cortical, así como los resultados del modelado de dos transectos, TSN1 y el TSN9.

En estos transectos, los colores de los bloques de basamento indican las densidades utilizadas para realizar el ajuste de la Anomalía de Bouguer; así, los bloques de basamento de color amarillo indican densidades en un rango entre 2.6 y 2.7 g/cc, los bloques de color naranja indican densidades desde 2.71 hasta 2.78 gr/cc y los bloques de color rojo densidades desde 2.79 hasta 2.85 gr/cc.

Los valores de la densidad de los bloques de basamento, obtenidos durante el modelado de cada transecto regional se ubicaron sobre los transectos; posteriormente se realizó la configuración automática de los valores de las curvas de isodensidad. La corteza continental está representada por rocas cuya densidad se encuentra en un intervalo de 2.6 hasta 2.71 gr/cc; la corteza transicional contiene rocas con densidades desde 2.71 hasta 2.77 gr/cc y la corteza oceánica está asociada a rocas cuyas densidades se encuentran en el intervalo de 2.78 hasta 2.85 gr/cc.

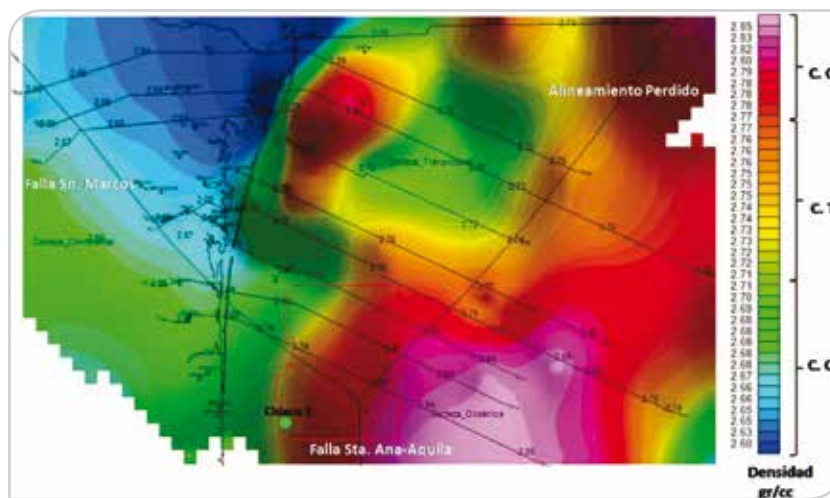


Figura 8. Mapa de la corteza oceánica, las líneas de color negro corresponden a los límites y tipo de corteza interpretados cualitativamente. La distribución areal de la corteza está representada por la configuración de los valores de densidad.

Basamento

Los valores obtenidos de la profundidad del basamento de los seis transectos modelados en 2010, se conjuntaron con los datos de profundidad de basamento de los tres transectos regionales modelados en 2009, generándose un archivo digital del basamento desde el paralelo 26°.00 hasta el área del polígono color rojo. Estos valores se configuraron automáticamente para obtener el mapa

de basamento mostrado en la **Figura 9**, se observa que el basamento se profundiza suavemente de occidente a oriente con algunas narices estructurales, dos hacia el occidente y una hacia el oriente, que conforman el pie del talud de la Cuenca del Golfo de México. Después del talud se definen algunos depocentros en la cuenca franca, en tanto que, más al oriente se observan algunos altos de basamento aislados que siguen el alineamiento estructural del Cinturón Plegado Perdido.

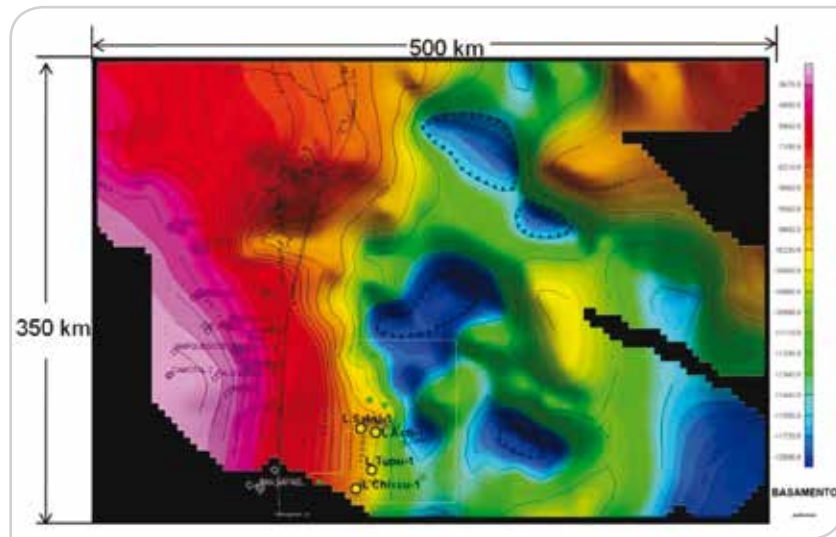


Figura 9. Mapa de basamento en las provincias geológicas de Burgos, Delta del Bravo, Cinturón Subsalino, Cinturón Plegado Perdido y Cordilleras Mexicanas Norte.

Para construir un mapa de basamento cristalino del Occidente del Golfo de México, **Figura 10**, se unificaron las mallas del basamento del modelado de los nueve transectos modelados, la malla del basamento acústico de la porción Sur del polígono rojo y la malla de la interpretación en profundidad del basamento acústico de la sísmica 2D, desde el polígono rojo hasta el límite del AEAPN.

Algunos aspectos importantes en la construcción de este mapa son:

- 1) La profundidad del basamento calculado se calibró con las profundidades de basamento granítico y metamórfico, cortado durante la perforación de los pozos de la llanura costera y plataforma continental.
- 2) El mapa ambiental del Jurásico Superior Kimmeridgiano del NE de México muestra las oportunidades exploratorias para el Jurásico Superior interpretadas en 265 km en la porción occidental de la Cuenca de Burgos.
- 3) La deformación del basamento del pie del talud de la Cuenca del Golfo de México predice la existencia de estructuras del play Mesozoico distribidas a lo largo de 420 km.

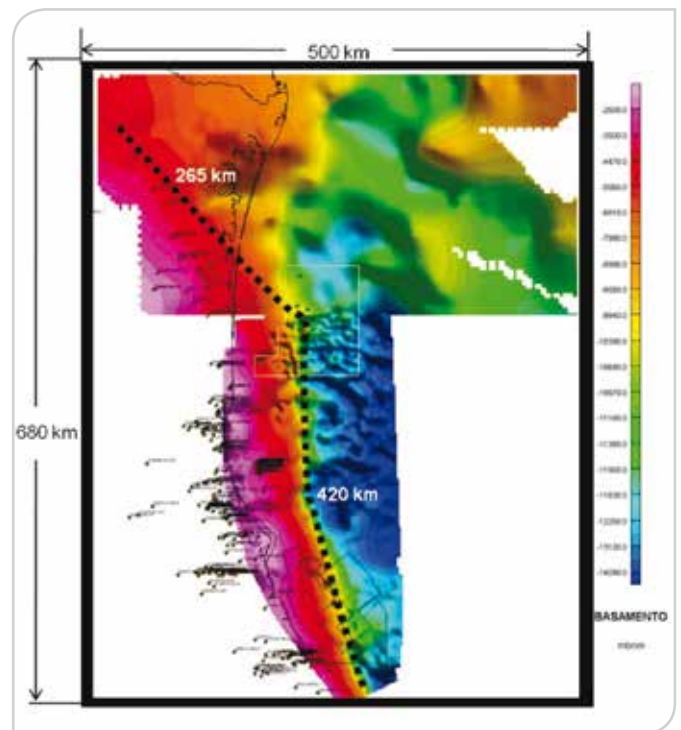


Figura 10. Mapa regional del basamento cristalino del oeste del Golfo de México.

Conclusiones

De la aplicación integrada de geología-geofísica se interpretaron:

- Los principales elementos tectónicos del noreste de México y del occidente del Golfo de México forman parte de la mega Cuenca del Golfo de México. Se interpretó que la Cuenca de Burgos tiene una geometría en forma de “V”, que incluye la porción marina y la terrestre. Estos límites están asociados a alineamientos de bloques altos de basamentos que tienen expresión gravimétrica y magnetométrica.
- Se interpretó la geometría del sistema paleotransformante por donde derivó el Bloque de Yucatán durante la apertura del Golfo de México. Esta geometría tiene la forma de “Y”, la parte norte corresponde a la Cuenca de Burgos, la parte occidental al arco de Tamaulipas y la parte oriental a la Cuenca del Golfo de México.
- La geometría de la Cuenca de Burgos indica la influencia de la tectónica salina. Las estructuras formadas por esta tectónica son más prominentes de norte a sur (polígono rojo), donde termina su influencia.
- A partir de la interpretación cualitativa de la Anomalía de Bouguer y de la Anomalía de Intensidad Magnética Total reducida al polo, se postula que la Cuenca de Burgos y el Arco de Tamaulipas, tienen actualmente una corteza continental–transicional y el límite de la corteza oceánica corresponde a la porción oriental de la “Y”.
- Del modelado integrado de secciones balanceadas y restauradas, y de información gravimétrica y magnetométrica se interpretó la distribución areal del tipo de corteza, donde la densidad de la corteza continental varía 2.6 a 2.71 gr/cc, la corteza transicional varía de 2.71 a 2.77 gr/cc y la corteza oceánica de 2.78 a 2.85 gr/cc.
- Con base en el modelado integrado de secciones balanceadas y restauradas y de información gravimétrica y magnetométrica se interpretó la geometría y profundidad del basamento. En el mapa construido, el comportamiento del basamento que es somero en la parte occidental

y se profundiza echado abajo hacia el centro del Golfo de México.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a las autoridades de Pemex Exploración y Producción, por el apoyo y permiso para mostrar algunos resultados de las actividades de integración geofísico-geológica de la porción occidental del Golfo de México.

Referencias

- Aranda, G. y Peterson R., 2008. Estructuras del arco de Monterrey y Cuenca de la Popa en la Sierra Madre Oriental y sus analogías para la exploración de hidrocarburos en el Golfo de México, Monterrey Nuevo León, México. Congreso Mexicano del Petróleo, 2008, Guía de Campo.
- Bird D. et al 2005. “Gulf of Mexico tectonic history: Hotspot tracks, crustal boundaries, and early salt distribution. *AAPG Bulletin*, v. 89, no. 3 (March 2005), pp. 311–328.
- Biegert, Román J. R. et al, 2008, “Continental Oceanic Boundary Deep Structure in a Shear Margin: Western Main Transform, Offshore Veracruz, Southern Gulf of Mexico. *AAPG, Memoir 90*, p 409-420.
- Campa M. F., Coney P.J., 1984. “Terrenos sospechosos de aloctonia y acreción del occidente y sur del continente norteamericano”. *Bol. Depto. Geof. Uni-Son*. Vol.1 pp. 1-24.
- Cornejo A., 1962, “La geofísica y el descubrimiento de nuevos campos petroleros en la Zona Sur de Pemex”, *Boletín de la AMGE*, Vol. V, Núm. 1.
- Carta Geológica-Minera San Lázaro G14-C69, Tamps., Esc. 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano.
- Chávez Cabello Gabriel, 2005. “Deformación y magmatismo Cenozoicos en el Sur de la Cuenca de Sabinas. Coahuila México. Tesis Doctoral, Centro de Geociencias UNAM.
- Damon et al, 1981. “Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la Metalogénesis”. UNAM, Instituto de Geología. Vol 5 No 2, p 223-238

- Hernández E., 1998, "Interpretación de estructuras synrift en la porción sur de la Cuenca Tampico-Misantla", Presentación Power Point, Archivo interno, Pemex.
- Goldhammer, R. K., 1999, Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast Mexico, in C. Bartolini, J. L. Wilson, and T. F. Lawton, eds., Mesozoic sedimentary and tectonic history of north-central Mexico: *Geological Society of America*, Special Paper 340, p. 1–58.
- Goldhamer R. K., et al 2005. Middle Jurassic-Upper Cretaceous Paleogeographic Evolution and Sequence-stratigraphy Framework of the Northwest Gulf of Mexico Rimm. AAPG Memoir 7, p 45-81.
- Hernández E. et al., 1998 "Unificación digital de la información gravimétrica y Magnetométrica. Atlas de cuencas y plataformas sedimentarias de Pemex". Reporte interno Pemex.
- Hernández et al, 2005. "Informe final de integración de actividades de gabinete y campo, del grupo v, de la Brigada Escuela de Geología Superficial". Universidad Autónoma de Nuevo León, FCT Linares.
- Hernández et al., 2008 "Estudio de plays Tampico-Misantla Sur III, Cretácico Medio, Jurásico Superior". Informe final AREN-0221, Reporte interno Pemex.
- Horbury et al, 2003. "Tectonic Sequence Stratigraphy of the Western Margin of the Gulf of Mexico in the Late Mesozoic: Less Passive than Previously Imagined.
- Hurheim H., 1926, "Gravity Survey in México, Dos Bocas Area". Reporte interno IGR 106, Pemex.
- Le Pichon J. et al, 2008. Tectónica de Gravedad y movimiento de Placas. Boletín de la Sociedad Geológica Francesa. Tomo 179, Vol. No.2.
- Méndez E. et al., 2001 "Gravimetría por satélite: Una alternativa económica para la exploración regional petrolera y el análisis de cuencas en el Golfo de México". Coordinación de Estrategias de Exploración, Memorias Symposium AMGE 2001.
- Ortega F, 1978. "El Gneiss el Novillo y rocas metamórficas asociadas en los cañones del Novillo y de la Peregrina, área de Cd. Victoria Tamaulipas". UNAM, Instituto de Geología, Vol. 2 No.1, p 19-30.
- Pemex-IMP, 1998, "Atlas de Cuencas y Plataformas sedimentarias, reporte interno".
- Pemex 2010, "Sistema de Gestión de Calidad Evaluación del Potencial", Reporte interno.
- Pindell et al, 2002. "Exploration Framework Atlas Series: Volume 4: Mexico and Gulf of Mexico. Tectonic Analysis.
- Servicio Geológico Mexicano, 2001 - 2002. "Aeromagnetometría del Golfo de México" STER.
- Servicio Geológico Mexicano, 2011. "Carta Geológica-Minera San Lázaro G14-C69, Tamps., Esc. 1:50,000".

Semblanza

M. David Octavio Rocha Esquinca

Ingeniero Geofísico (FCT-UANL, 1997-2002), Diplomado en Geociencias (FCT-UANL, 2005), Maestría en Ingeniería Administrativa (IEUEV, 2008-2010).

Colaboró en el Instituto Mexicano del Petróleo IMP 2003-2005.

Desde el 2005 colabora para Pemex en actividades de operación geofísica (2005-2011) y actualmente participa en la interpretación geofísico-geológica de estudios de generación y documentación de prospectos en aguas profundas en el Activo de Exploración Aguas Profundas Norte.

Ha participado como coautor en las Jornadas Técnicas de la AIPM.