

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



“ESTIMACIÓN DE VELOCIDADES ADVECTIVAS
SUPERFICIALES A PARTIR DE IMÁGENES
SATELITALES (AVHRR) EN EL GOLFO DE
TEHUANTEPEC, MÉXICO”

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
O C E A N Ó L O G O
PRESENTA
RODRIGO Yael DURÁN SESIN

ENSENADA DE TODOS SANTOS, B.C. AGOSTO DE 2006.

RESUMEN

En este trabajo se implementó un método del Colorado Center for Astrodynamics Research para determinar velocidades en la superficie del mar a partir de imágenes satelitales (AVHRR). EL método aquí descrito es distribuido libremente. Los programas están escritos en lenguaje "C" y funcionan en un sistema operativo Linux o UNIX.

Utilizando la temperatura superficial del mar como trazador en imágenes de infrarrojo (sensor Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR), se estiman desplazamientos de masas de agua superficiales. Con esta información se calculan velocidades asociadas a movimientos en la superficie del mar. Para encontrar los desplazamientos se utiliza el método de Máxima Correlación Cruzada (MCC). Las correlaciones se realizan entre imágenes sucesivas en un intervalo de tiempo relativamente corto (~12 horas). Por medio de las correlaciones se pueden ubicar y rastrear rasgos térmicos definidos por la distribución de temperatura en las dos imágenes.

El método requiere que las imágenes del sensor AVHRR estén georeferenciadas con la máxima precisión posible (el nivel aceptable es ± 1 píxel ó ~ 1 km) para poder comparar un par de imágenes. Para ello se utiliza información del modelo orbital del satélite (efemérides) como primera corrección. A continuación se hace una corrección automatizada que compara la imagen a corregirse con una imagen base previamente corregida manualmente a ± 1 píxel. De esta manera la georeferenciación es automatizada a partir de contar con las imágenes bases necesarias. Se utilizan diversos filtros para eliminar desplazamientos erróneos con lo cual se reporta un error cuadrático medio entre 0.25 y 0.08 ms^{-1} dependiendo del tipo de filtro utilizado.

Por último, y a manera de ejemplo, se aplica el método descrito para detectar algunos rasgos de la circulación en el Golfo de Tehuantepec. Las velocidades estimadas a partir de imágenes satelitales son comparadas con los datos obtenidos por radares de alta frecuencia y con velocidades de altimetría. En general los resultados obtenidos muestran coherencia tanto con velocidades obtenidas por medio de radares de alta frecuencia, como velocidades obtenidas por altimetría satelital mediante aproximación geostrófica. Esto muestra que el método descrito en esta tesis puede ser implementado de manera operacional para la determinación de corrientes superficiales. La implementación es relativamente sencilla y muy económica.

**“ESTIMACIÓN DE VELOCIDADES ADVECTIVAS
SUPERFICIALES A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES
(AVHRR) EN EL GOLFO DE TEHUANTEPEC, MÉXICO”**

TESIS que para obtener el título de Oceanólogo presenta:

Rodrigo Yael Durán Sesin

Aprobada por:



Presidente del jurado
Dr. José Antonio Martínez Alcalá



Sinodal Propietario
Dr. Reginaldo Durazo Arvizu



Sinodal Propietario
Dr. Julio Sheinbaum Pardo

Agradecimientos.

En el nombre de Dios el más Compasivo el más Misericordioso. Todo agradecimiento pertenece a Dios, la Única Realidad que abarca todas las posibilidades que vemos y percibimos así como las que no conocemos, exaltado sea por encima de lo que la mente convencional le adjudica. Hacia El es el retorno final, Creador de los cielos, de la tierra y de lo que entre ellos esta, Dador de vida y Dador de muerte, irresistible, siempre-viviente, autosuficiente.

Mis mas sinceros agradecimientos a mis maestros.

Gracias madre, padre por todo lo que han hecho por mi. Nada de lo que haya hecho o haga podría ser si no fuera por ustedes. Su amor y cuidados serán siempre agradecidos.

A mis hermanos Omar y Pablo, son los mejores, no hay palabras...

A puki y futura de Pablo les extiendo la hermandad y bienvenidas a la familia (medio loca pero buena familia).

A Alma Lisette. Gracias por nunca soltar mi mano a lo largo de este increíble trayecto. Gracias por compartir tantas, tantas cosas invaluable y por todo el amor.

A los abuelos y abuelas, gracias. Soy herencia de sus seres y acciones así como ustedes lo son de todos nuestros ancestros. A Saide, ¿que decir?, gracias por existir y ser. A Ruthy, Anita y Edy por ser la parte de familia que complementó maravillosamente mi vida. Para siempre. A todos mis amigos y amigas que han hecho de mi vida un mejor lugar para vivir. Son ustedes muchos y saben quienes son. Para siempre. Son tantos que no los menciono pero saben que mi casa es su casa y que mi amistad es para el resto de mi vida. Al "equipo", las memorables y heroicas sesiones 24/7 serán siempre un grato recuerdo. Insisto: cafeína, proteínas y vitaminas.

A Luis Manuel Zepeda Inclán y a Marcus Perez y Shmidt ¿que les puedo decir? No solo ha sido divertido ha sido esencial. Gracias y adelante. Aun quedan muchos planes pendientes y recordar los grandes logros y acontecimientos que hemos compartido será siempre agradable, amen de dejar el pecho bien llenito de sano orgullo y honor. Sin miedo, sin limitaciones, puro para delante, puro para arriba, el planeta tierra aguarda...

A mi director de tesis Dr. Antonio Martínez Alcalá por sus impresionantes conocimientos y facilidad para compartirlos, por su confianza que nunca flaqueo a pesar de mis poco ortodoxos medios de cumplir con mis responsabilidades. Por su apoyo y comprensión a lo largo de estos años. Ha sido un honor trabajar con un profesional de tan alta talla como lo es usted. Sin lugar a dudas ha causado un positivo y significativo impacto en mi formación como estudiante. Es mi sincero deseo que todo esto sea apenas el comienzo de una larga y fructífera amistad y ¿porqué no? también relación de trabajo.

A mi sinodal Dr. Reginaldo Durazo Arvizu por su confianza y apoyo que de tantas maneras hicieron posible mi participación en este proyecto. También gracias por el atinado empuje hacia la perfección que hoy por hoy me hace ser un mejor profesionista. Su contribución a mi formación de oceanólogo es enorme. Será para mí un honor y un placer continuar con la amistad y con la colaboración en proyectos como lo ha sido hasta ahora esta tesis y los muestreos de San Quintín. Gracias a todos los trabajadores mexicanos cuyos impuestos fueron canalizados a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al mismo CONACyT por canalizarlos. Pagaron alrededor del 65% de mis gastos de estudiante durante un año, por medio de la beca para esta tesis, registrada en el proyecto Corrientes y Oleaje en el Golfo de Tehuantepec (COGOTE) registro U40822-F en el CONACyT. Obviamente muchas gracias al Dr. Reginaldo Durazo Arvizu, responsable del proyecto, por su confianza y apoyo en este sentido. Gracias también al M.C. Federico Velazquez y al Dr. Reginaldo Durazo Arvizu por proporcionar

amablemente los datos de radar de alta frecuencia del proyecto COGOTE para la realización de esta tesis.

Al Dr. Julio Sheinbaum por su apoyo y aportaciones a la tesis.

Al Dr. Rubén Castro por su apoyo y derroche de buena vibra. Gracias también por el empuje al ser su becario de investigación y estudiante.

Al Dr. René Pinet Plascencia por la ayuda con Linux para la realización de esta tesis. Gracias también por mostrarme originales y bien pensadas alternativas en mi desarrollo y desempeño como profesionalista de la ciencia.

Al M.C. Hector Manzo Monroy por la ayuda en la realización de esta tesis.

A la Ing. en Comp. Perla Karina Barba Rojo por la ayuda en la realización de esta tesis.

Al Dr. Eduardo del Ángel Santamaría por ser mi tutor durante la licenciatura.

A mi maestro de matemáticas por excelencia M. C. Manuel Moreno Mercado, gracias por toda su buena vibra, su amistad, sus clases, su tiempo, su escucha, su ayuda, su confianza. También por sus atinadísimos consejos y apoyo para mi formación. También debo mencionar el apoyo constante para lograr mis objetivos desde cartas de recomendación hasta "préstamos indefinidos" de libros.

Al Dr. Francisco Ocampo por la beca para Satellite Oceanography 2004 y el XVI Verano de Investigación auspiciado por la Academia Mexicana de Ciencias que ayudo significativamente a la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Robert Millán, su apoyo y profesionalismo son un ejemplo a seguir. Esta actitud ayudó claramente a que mi licenciatura sea posible. Gracias por las recomendaciones, por el apoyo constante y por hacer de nuestra Facultad de Ciencias Marinas una mejor facultad bajo su dirección.

Al M.C. Eliseo Almanza por su continuo y constante apoyo, actitud progresista y ganas de hacer las cosas bien y eficientemente. Gracias por el apoyo durante mi licenciatura.

Al Dr. Álvaro Álvarez por su apoyo, sus consejos, sus clases y sus cartas de recomendación. Su influencia en estos aspectos definitivamente tienen un importante impacto beneficioso en mi vida.

Al Dr. Carlos Yee por sus clases (que gran conocimiento y que pureza de transmisión, gracias), por su apoyo, sus cartas de recomendación y los consejos.

Al Dr. Roberto Romo por sus clases, consejos y gran actitud. Muchas gracias de verdad.

Esta tesis fue desarrollada y escrita al ritmo de Rage Against the Machine, el silencio (sin música), Jane's Addiction, Paul Van Dyk, Brussels is Burning, J.S. Bach, Chemical Brothers, Led Zeppelin, Gondwana, Bob Marley, Manu Chao, Mano Negra, Chopin, Madredeus, Mozart, Beastie Boys, Pete Dinklage y los Yerberos. Sirva esta confesión como explicación para cualquier golpeteo injustificado en este trabajo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA	7
2.1.1 Máxima Correlación Cruzada.....	7
2.1.2 Navegación y corrección de actitud automatizada.....	10
2.1.3 Obtención de velocidades.....	13
2.1.4 Filtrado de resultados.....	15
2.1.5 Validación y precisión del método.....	17
2.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO PARA ESTIMAR VELOCIDADES EN EL GOLFO DE TEHUANTEPEC.....	18
2.2.1 Descripción del área de estudio.....	18
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4. SUMARIO.....	41
5. REFERENCIAS.....	43
APÉNDICE A.....	46
MANUAL DE LA PAQUETERÍA DEL COLORADO CENTER FOR ASTRODYNAMICS RESEARCH PARA OBTENER VELOCIDADES SUPERFICIALES EN LA MAR A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES SECUENCIALES (AVHRR).....	46
A.1 Obtención e instalación del software.....	47
A.2 Adquisición de imágenes AVHRR a resolución 1.1 x 1.1 km.....	51
A.2.1 Selección de imágenes apropiadas.....	55
A.3 Navegación de imágenes.....	56
A.4 Creación de una imagen base.....	61
A.5 Corrección de actitud automatizada.....	70
A.6 Obtención de velocidades y filtrado de vectores erróneos.....	71
A.7 Obtención de velocidades ejemplificado.....	76

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. En la primera imagen se muestra el punto (i_0, j_0) como un círculo, la matriz de búsqueda como el cuadrado alrededor del círculo. La matriz con la cual se obtuvo la máxima correlación se muestra en la segunda imagen permitiendo definir el desplazamiento de la matriz original, desplazamiento mostrado con una flecha. Nótese el cuadrado de línea punteada en la segunda imagen. Esta área es la ventana de búsqueda dentro de la cual se buscó la máxima correlación. Nótese también que el gradiente (gris-blanco) permite identificar el rasgo que se está buscando. (Tomado de Mathews, 2003).....8

Figura 2. Visualización de cabeceo, bamboleo y escoramiento (Roll, pitch y yaw). Valores que definen la actitud del satélite (ver Rosborough *et al.*, 1994 para más información) Tomado de:
<http://virtualskies.arc.nasa.gov/aeronautics/tutorial/motion.html>.....10

Figura 3. Área de estudio: el Golfo de Tehuantepec donde se pueden observar rasgos de topografía y batimetría. Nótese la sierra en ambos lados del Istmo de Tehuantepec, Tomado de:
<http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm>.....20

Figura 4. Campo de velocidades superficiales obtenidas por MCC para el 11 de Enero de 2005 en negro. Los vectores rojos son velocidades obtenidas por altimetría para el 12 de Enero. La escala de colores sobre la mar es la altura dinámica en cm, sobre la porción terrestre los colores son topografía en unidades de 10^2 m.....24

Figura 5. Igual que en la figura 4 con velocidades MCC para el 12 de Enero de 2005 y con velocidades de altimetría del mismo día.....26

Figura 6. Se muestra una de las imágenes utilizadas en la obtención de velocidades MCC para el día 12 de Enero de 2005 con velocidades MCC. La franja negra en la parte inferior de la imagen muestra la zona que quedó fuera del "swath" del AVHRR.27

Figura 7. Campo de velocidades superficiales obtenidas por MCC para el 13 de Enero de 2005 en negro. Los vectores rojos son velocidades obtenidas por altimetría para el 12 de Enero 2005. La escala de colores es la misma que en la figura 4.....28

Figura 8. Misma nomenclatura que en la figura 4 con velocidades MCC del 15 de Enero de 2005 y altimetría del mismo día.....29

Figura 9. Misma nomenclatura que en la figura 4 con velocidades MCC del 17 de Enero de 2005 y altimetría del 15 del mismo mes.....30

Figura 10. Campo de velocidades superficiales para el 12 de Febrero de 2005. Tonos de gris representan temperatura en escala arbitraria donde tonos oscuros representan zonas frías (nótense las nubes sobre la sierra de color negro) y las zonas calientes son representadas por tonos claros.....31

Figura 11. Viento para los días en que se presentan velocidades obtenidas por MCC. Los campos de viento fueron obtenidos mezclando datos de satélite Quikscat y del modelo numérico de NCEP (Milliff *et al.*, 1999). La escala de colores es la magnitud en ms^{-1} . **A.** 11 de enero de 2005. **B.** 12 de enero de 2005. **C.** 13 de enero de 2005. **D.** 15 de enero de 2005. **E.** 17 de enero de 2005. **F.** 12 de febrero de 2005.....33

Figura 12. Mismo campo de velocidades que en la figura 4 (vectores negros son MCC filtrados) con vectores de altimetría (en rojo). Sobre la mar la escala de colores es la altura dinámica en cm, sobre la porción terrestre los colores son topografía en 10^2 m35

Figura 13. Comparación de velocidades de radares de alta frecuencia. Los vectores rojos son el promedio de datos cada hora desde las 15 hasta las 22 hrs GMT-6) y los vectores negros son velocidades obtenidas por medio del MCC (apéndice A.7). Para obtener estos vectores se utilizó una imagen AVHRR adquirida entre las 15:07 y las 15:09 (figura 18) y otra imagen adquirida entre las 22:10 y las 22:12 GMT-6 (figura 19).....38

Figura 14. Velocidades MCC obtenidas en apéndice A.7 sobre temperatura arbitraria donde azul es más frío y marrón representa las temperaturas mas calientes.

A. Velocidades filtradas con metodología CCAR (ver 2.1.4).

B. Velocidades sin filtro alguno.

C. Solamente se han eliminado tanto los vectores obtenidos con correlaciones menores a 0.5, como las velocidades con rapidez mayor a 120 cms^{-1} .

D. Se han eliminado tanto los vectores obtenidos con correlaciones menores a 0.8, como las velocidades con rapidez mayor a 120 cms^{-1}40

Figura 15. Selección sugerida de opciones al momento de buscar imágenes Nivel 1b del sensor AVHRR. También se pueden seleccionar uno o más satélites específicos con el ratón. En caso de querer seleccionar más de uno utilice la tecla Ctrl. mientras selecciona con el ratón.....53

Figura 16. Opciones para la determinación del lugar y periodo de tiempo a trabajar.....54

- Figura 17.** Una imagen del Golfo de Tehuantepec geroreferenciada dentro del nivel de precisión requerido sin la necesidad de haber corregido por actitud de satélite. Esta imagen puede ser utilizada como imagen base.....63
- Figura 18.** Criterios de búsqueda utilizados en la página <http://www.class.noaa.gov/> con los cuales se encontraron las imágenes de este ejemplo.....78
- Figura 19.** Datos de la primera imagen seleccionada. Nótese en la porción inferior izquierda de esta imagen que en el canal 2 del AVHRR se puede ver la imagen satelital (con la perspectiva del satélite) lo cual indica que es una imagen diurna. Cuando la imagen es nocturna la imagen del canal 2 se ve blanco como es el caso en la figura 20.....79
- Figura 20.** Datos de la segunda imagen seleccionada. Nótese que el canal 2 del AVHRR aparece en blanco lo cual indica que es una imagen nocturna.....80
- Figura 21.** Imagen de las 15 hrs GMT -6, nótese como la porción terrestre tiene mayor brillo que el resto de la imagen, esto es indicativo de la irradiancia terrestre diurna.....82
- Figura 22.** Imagen de las 22 hrs GMT -6, nótese como la porción terrestre tiene aproximadamente el mismo brillo que el resto de la imagen, esto es indicativo de la irradiancia terrestre nocturna.....83
- Figura 23.** Imagen de las 15 hrs GMT -6, con los vectores filtrados sobrepuestos. Nótese la presencia de un giro ciclónico que afecto la decisión de utilizar una matriz de búsqueda de 30 x 30 píxeles en el renglón 2 del archivo mp ver publicación de Emery *et al.* (1991). Este imagen es el producto del interfaz gráfico idlsho.....85

1. INTRODUCCIÓN

Los océanos en nuestro planeta se caracterizan por una amplia gama de fenómenos dinámicos. Estudiados por la oceanología, ciencia que abarca la geología, biología, química y física del océano, estos fenómenos necesitan ser abordados de manera interdisciplinaria para ser comprendidos correctamente.

Es común, por ejemplo, que en el estudio del océano se encuentre que las corrientes marinas sean determinantes, o por lo menos agentes protagonistas en los procesos de interés. Esto no sólo hace de la oceanología una ciencia compleja por lo dinámico en tiempo y espacio de sus fenómenos, sino que convierte al estudio y descripción de las corrientes en una prioridad oceanográfica.

En un planeta cubierto en casi $\frac{3}{4}$ partes por océano, en donde la humanidad depende en gran medida del océano para transportación, comunicación y explotación de recursos naturales, el estudio de las corrientes oceánicas es una necesidad tanto para planeación relacionada con la mar, así como para la comprensión del planeta Tierra como el sistema dinámico que es.

Actualmente el conocimiento obtenido en el estudio de las corrientes marinas es utilizado en diversas aplicaciones tan generales como:

- predicción y modelación del clima y fenómenos meteorológicos,

- planeación y ejecución de obras marítimas costeras,
- conservación, manejo y explotación de recursos marinos
- simulación y control de dispersión de contaminantes,
- predicción y simulación de mecanismos ecológicos que permite por ejemplo, la conservación de especies amenazadas de una manera más efectiva,
- simulación y comprensión de fenómenos de transporte sedimentario,
- toma de decisiones para uso de zona costera (mar y tierra),
- navegación marítima.

Se han desarrollado diversas tecnologías capaces de medir las velocidades de las corrientes. Los principales ejemplos de la tecnología utilizada en la actualidad son los perfiladores Doppler (Acoustic Doppler Current Profiler ADCP), boyas de deriva y radares de alta frecuencia. Estos mecanismos de medición directa producen resultados de gran calidad, sin embargo presentan algunas desventajas:

- El costo de los equipos es alto.
- El ADCP está restringida a una medición puntual o a una trayectoria de barco.
- La instalación, recuperación y en ocasiones, el mantenimiento de los equipos es también costoso. Además, no siempre es exitoso

dadas las dificultades implícitas a la instalación, búsqueda y recuperación en la mar.

- Como consecuencia directa de los dos primeros puntos es posible, y de hecho común, que no se logre la cobertura espacial y/o temporal óptima para una investigación oceanográfica adecuada. Esta deficiencia es más dramática en países donde los recursos destinados a la ciencia son escasos.

Conocer la advección real del océano por medio de percepción remota (satélites) ofrece enormes ventajas logísticas y económicas, permite conocer el campo de velocidades en un área de interés en un periodo muy reducido. Evita, además, la necesidad de instalar y recuperar equipo oceanográfico ya que sólo se requieren de imágenes de satélite disponibles de forma gratuita, computadoras personales económicas y el software adecuado. Esto disminuye drásticamente los costos mientras se abarcan áreas potencialmente grandes, (10 grados longitud por 10 grados latitud por ejemplo) en comparación con los métodos tradicionales para la medición de corrientes mencionados anteriormente (la mayor cobertura espacial con la tecnología convencional es con radares de alta frecuencia donde un par de antenas permiten coberturas del orden de ~100 x 100 km).

El método aquí propuesto ofrece ventajas que el desarrollo de la oceanografía física no debe ignorar. Prueba de ello es el interés mostrado por

centros de investigación oceanográfica en Canadá, Estados Unidos, Australia, Rusia, Francia, Brasil, Chile, India, Japón y China por mencionar algunos. Estos países han aplicado sus recursos e ingenio para obtener campos de velocidades a partir de imágenes satelitales en la mar así como para mejorar el método. No se conoce a la fecha ningún trabajo publicado donde se aprovechen de esta manera las imágenes satelitales en territorio mexicano. Existen sin embargo diversas publicaciones extranjeras sobre la obtención de campos de velocidades superficiales derivadas de imágenes satelitales, basadas en el trabajo de Emery *et al.* (1986), en el cual se describió por primera vez un método objetivo para lograrlo.

Algunas de las aplicaciones inmediatas de la metodología son:

- Complementación y comparación con datos de circulación obtenidos por otros medios.
- Evaluación de resultados obtenidos por modelos numéricos, así como la generación de condiciones de frontera reales. Puede convertirse en una valiosa herramienta en la modelación con asimilación de datos al aportar información en tiempo casi real, aunque está limitada a la superficie y sería por ello deseable contar con otras fuentes de información.
- Análisis de circulación oceánica (advección de contaminantes, nutrientes, plancton, etc.).

- Campos de advección para modelos numéricos con redes neuronales que necesitan datos reales para corregir sus resultados (una vez mas esta información está limitada a la superficie).
- Se puede llevar a cabo esta misma metodología con imágenes de color aunque esta tesis no cubre esta posibilidad.
- Se puede obtener mayor información al combinar con datos de altimetría y obtener campos de velocidades que resultan de combinar geostrofia con advección. Ambos obtenidos de información satelital (Wilkin *et al.*, 2002).

William Emery (primero en publicar el método) se encuentra actualmente (2006) trabajando en el Colorado Center for Astrodynamics Research (CCAR) donde ha desarrollado junto con su equipo de trabajo una paquetería que permite calcular velocidades advectivas superficiales a partir de imágenes de brillo superficial (primitivo a la temperatura superficial) obtenidos por los satélites NOAA. La paquetería está escrita en lenguaje "C" para el sistema operativo UNIX o Linux y es necesario que el compilador de "C" esté instalado en el sistema operativo que se utilice. Existen otras posibilidades como CYGWIN que se instala en el sistema operativo Windows y funciona como un Linux Red Hat, habría que verificar la posibilidad de correr esta paquetería desde Windows usando CYGWIN.

El objetivo de esta tesis es implementar una paquetería de programas de cómputo desarrollada en el CCAR, que automaticen una técnica objetiva para

calcular velocidades advectivas superficiales en la mar a partir de imágenes satelitales secuenciales.

Una medida de la operatividad de la herramienta es comparar los resultados que arroja con datos de corrientes medidas con alguna otra instrumentación y metodología. Para tal efecto en este trabajo se comparan los resultados con velocidades obtenidas a partir de altimetría satelital y con velocidades obtenidas a partir de radares de alta frecuencia. Se agradece la amabilidad del Dr. Reginaldo Durazo y del M.C. Federico Velázquez al proporcionar los datos de radares de alta frecuencia. Los productos de altimetría fueron producidos por SSALTO/DUACS y distribuidos por AVISO con apoyo de CNES (<http://www.jason.oceanobs.com/html/>).

2. METODOLOGÍA

2.1.1 Máxima Correlación Cruzada

La máxima correlación cruzada ó MCC (Maximum Cross Correlation en inglés), es central en la metodología aquí descrita. Se utiliza tanto en la navegación de imágenes automatizada, como en la obtención de velocidades advectivas superficiales, ambos procesos explicados a continuación. Conviene por lo tanto describir la MCC desde el inicio.

En la MCC se efectúan correlaciones bidimensionales entre un par de imágenes separadas en el tiempo por 12 horas ó menos (Emery *et al.*, 1991). Se necesita de un par de imágenes para rastrear los rasgos térmicos de la primera imagen dentro de la segunda imagen (figura 1).

Se particiona la primera imagen (imagen completa = 1024x1024 píxeles) en pequeñas matrices de búsqueda (22x22 píxeles por ejemplo, denotado por el cuadrado de línea sólida en la primera imagen de la figura 1). Cada matriz de búsqueda es identificada por la posición del píxel central, o sea su posición (i_0, j_0) dentro de la primera imagen (denotado por un círculo en la figura 1).

A continuación se correlacionan bidimensionalmente cada una de las matrices de búsqueda de la primera imagen con algunas matrices del mismo orden en la segunda imagen. Las correlaciones se llevan a cabo solamente dentro de una ventana de búsqueda que es un área delimitada dentro de la imagen 2 (cuadrado punteado en figura 1), para ahorrar tiempo de cómputo. La

ventana de búsqueda se define tomando una distancia predeterminada a partir del centro (i_0, j_0) para formar un cuadrado alrededor de este punto.

La distancia predeterminada se calcula considerando la máxima distancia que pudo haberse desplazado la matriz de búsqueda (que representa una masa de agua caracterizada por los valores de temperatura) en el tiempo transcurrido entre las dos imágenes. Así, esta distancia esta dada por:

$$\text{distancia} = \text{máxima velocidad típica} \times \text{tiempo entre las dos imágenes}$$

La máxima correlación obtenida dentro de la ventana de búsqueda permite suponer un desplazamiento que se toma desde la posición del píxel que identifica la matriz de búsqueda en la primera imagen hasta la posición del píxel que identifica la matriz con la cual se obtuvo una máxima correlación en la segunda imagen (flecha dentro de la figura 1). Este desplazamiento se puede traducir a las unidades preferidas.

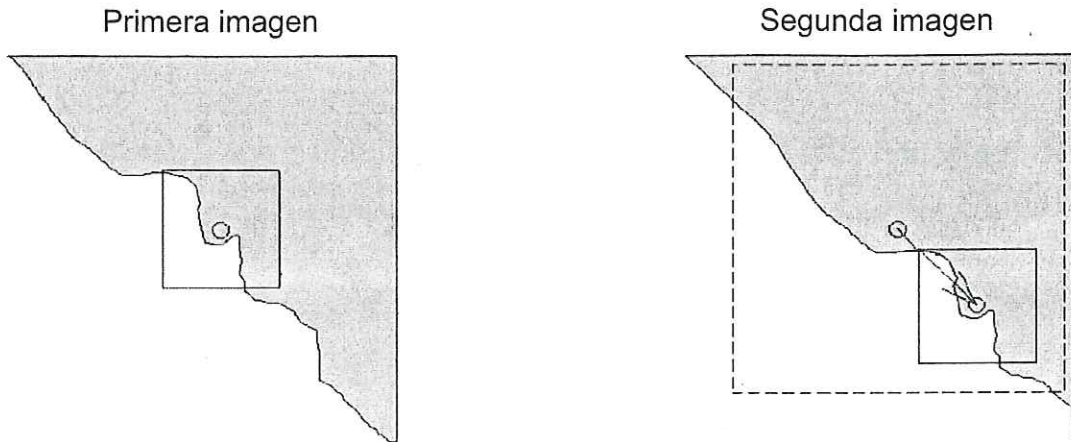


Figura 1. En la primera imagen se muestra el punto (i_0, j_0) como un círculo, la matriz de búsqueda como el cuadrado alrededor del círculo. La matriz con la cual se obtuvo la máxima correlación se muestra en la segunda imagen permitiendo definir el desplazamiento de la matriz original, desplazamiento mostrado con una flecha. Nótese el cuadrado de línea punteada en la segunda imagen. Esta área es la ventana de búsqueda dentro de la cual se buscó la máxima correlación. Nótese también que el gradiente (gris-blanco) permite identificar el rasgo que se está buscando. (Tomado de Mathews, 2003).

La correlación cruzada (r) está dada por la ecuación:

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2 \sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2}}$$

A_{mn} son los valores de la matriz de búsqueda de m renglones y n columnas (generalmente $m = n$), \bar{A} es el promedio de esta matriz. B_{mn} son los valores de la matriz con la cual se está comparando la matriz de búsqueda (en la imagen 2) y \bar{B} el promedio de los mismos.

2.1.2 Navegación y corrección de actitud automatizada.

En la paquetería del equipo de CCAR, el primer paso es automatizar el proceso de navegación de imágenes a una precisión de ± 1 píxeles, donde un píxel corresponde aproximadamente a un kilómetro. El método utilizado para georeferenciar lo que el satélite observa es conocido como navegación indirecta (Rosborough *et al.*, 1994). En este método la imagen del satélite se mapea a una posición de la tierra (latitud y longitud) dentro de una proyección predeterminada permitiendo que todas las imágenes concuerden con el mismo mapa. La navegación indirecta permite comparar con precisión imágenes sucesivas de satélite, debido a que tienen la misma georeferenciación.

El proceso automatizado de navegación utiliza una imagen base navegada con alta precisión (± 1 píxel) como referencia. La imagen base se obtiene primero por medio de correcciones orbitales a partir de los elementos keplerianos conocidos o modelados para la órbita del satélite según los registros del satélite. Finalmente se hacen correcciones humanas para eliminar los errores ocasionados por la "actitud" del satélite. La "actitud" del satélite se refiere a la orientación que este tiene respecto a la superficie terrestre conforme viaja en su órbita. Se calcula por medio los valores conocidos como cabeceo, bamboleo y escoramiento (en inglés roll, pitch y yaw, figura 2). Otra fuente de error es el registro del tiempo del satélite que depende de la precisión del reloj

en el satélite. Sin embargo este error se puede considerar como un error de actitud y no necesita corrección aparte (Emery *et al.*, 2003).

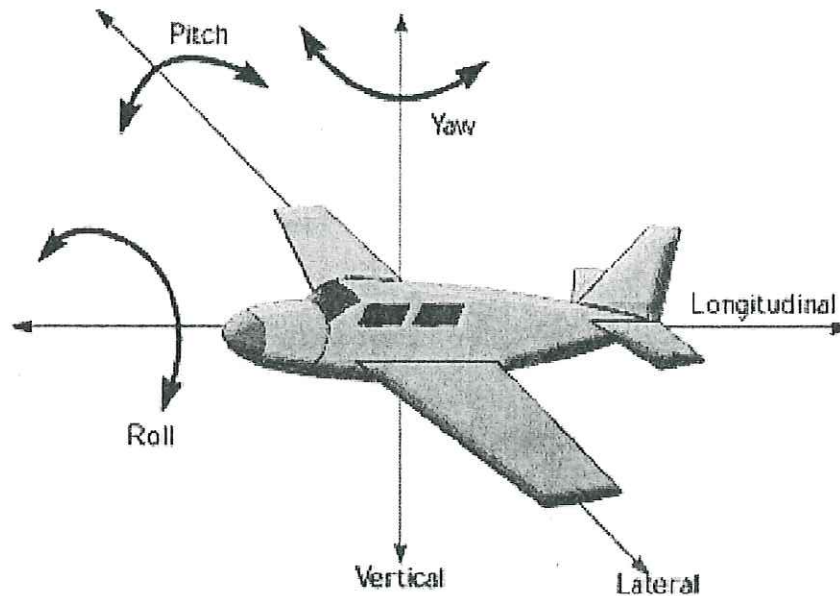


Figura 2. Visualización de cabeceo, bamboleo y escoramiento (Roll, pitch y yaw). Valores que definen la actitud del satélite (ver Rosborough *et al.*, 1994 para más información) Tomado de: <http://virtualskies.arc.nasa.gov/aeronautics/tutorial/motion.html>

Una vez obtenida la imagen base, se utiliza la MCC para detectar “desplazamientos geográficos” entre la imagen base y las imágenes que se desean corregir de manera automatizada (Emery *et al.*, 2003). Estos desplazamientos sólo son útiles sobre rasgos permanentes, y por lo tanto es necesario contar con una porción terrestre y restringir la comparación a esta porción. Para ello se crea una máscara (ceros ó unos para cada píxel). Se utilizan valores de cero para el océano y grandes cuerpos de agua (contenidos en la parte terrestre de la imagen como lagos), permitiendo limitar la comparación a la porción terrestre (valores de uno). Sobre la franja de tierra

firmes las características de radiancia sólo cambian con las variaciones diurnas y estacionales lo cual obliga a tener una imagen base para cada posibilidad (8 en total para un año de datos: día y noche para cada estación del año). De esta manera se evita que la MCC interprete las variaciones estacionales o diurnas como desplazamientos entre las dos imágenes. Así mismo los valores de radiancia de nubes son filtrados por sus bajos valores de emisión de infrarrojo, esto evita que se interpreten movimientos de nubes como desplazamientos erróneos (Emery *et al.* 2003). La metodología requiere que la imagen base tenga una cobertura de nubes mínima sobre la porción terrestre. Esto último con el fin de contar con la mayor cantidad posible de rasgos con los cuales obtener desplazamientos por medio de la comparación efectuada con la MCC.

En las correlaciones se utilizan todos los rasgos de radiancia en infrarrojo de la tierra, buscando alinear patrones en la imagen que se quieren corregir con respecto a los mismos patrones en la imagen base. Si los rasgos no están alineados se obtiene un “desplazamiento” entre donde debe estar (en la imagen base) y donde realmente se encuentran en la imagen a corregirse. Los “desplazamientos” se utilizan para calcular los valores de cabeceo, bamboleo y escoramiento en radianes (Rosborough *et al.*, 1994). Con estos valores se corrige la imagen completa para que concuerde con el mapa de nuestra elección.

El algoritmo del CCAR para la navegación automatizada consiste de una serie de pasos que se pueden resumir como (Emery *et al.* 2003):

- 1) Filtrado de nubes de la imagen a corregirse.
- 2) Generación de vectores de desplazamiento por medio de MCC.
- 3) Filtrado de vectores incoherentes (descrito en sección 2.1.4).
- 4) Ordenamiento de los vectores por pares cuya distancia entre si es máxima (para el cálculo de actitud se obtienen mejores resultados mientras mas separados entre si estén los vectores).
- 5) Conversión de los desplazamientos en diferencias de latitud y longitud.
- 6) Cálculo de actitud para cada par de desplazamientos.
- 7) Cálculo de actitud promedio.

La navegación final de la imagen se efectúa considerando estos valores promedio y resultando en una navegación de ± 1 píxeles al igual que la imagen base.

2.1.3 Obtención de velocidades.

Una vez que se cuenta con imágenes navegadas con la precisión requerida, estas pueden ser utilizadas para compararse entre si, en la porción de mar dentro de las imágenes usando MCC. Con ello se obtendrán desplazamientos de las masas de agua, que son caracterizadas por la distribución de temperatura en la matriz de búsqueda. Al dividir las componentes del desplazamiento entre el tiempo entre las dos imágenes se obtienen las velocidades advectivas superficiales que ocasionaron tales

desplazamientos. Es importante notar que un par de imágenes separadas por demasiado tiempo son fuente de error por diversas razones como lo son flujos de calor ó deformación del fluido (como divergencia y vorticidad). Para profundizar más en este tema se recomienda revisar Emery *et al.* (1991) y Kamachi (1989). Como se había mencionado antes, el periodo máximo recomendado entre dos imágenes es de 12 horas (Emery *et al.*, 1991).

Al aplicar la MCC a la región de mar en las imágenes, se supone que la temperatura superficial es conservativa, y por lo tanto, se puede utilizar como un trazador. Al escoger una matriz de búsqueda, se escoge una “masa” de agua identificada por la matriz de temperaturas que la compone, un valor de temperatura por cada píxel. Al hacer las correlaciones con las matrices que se encuentran dentro de la ventana de búsqueda se compara la matriz elegida inicialmente (matriz de búsqueda en la primera imagen en el tiempo) con todas las matrices del mismo tamaño en la imagen posterior. Al encontrar la máxima correlación se considera que esa es la matriz de búsqueda en su nueva ubicación dentro de la segunda imagen en el tiempo. El desplazamiento se define entonces como $(i_1, j_1) - (i_0, j_0) = (p, q)$. Finalmente se obtienen las componentes de las velocidades dividiendo este desplazamiento entre el tiempo transcurrido entre ambas imágenes: $\frac{(p, q)}{\Delta t} = (u, v)$.

Durante el cálculo de la MCC los valores de píxeles por debajo de cierto valor crítico son ignorados en las correlaciones por considerarse como nubes.

De existir muchos valores de nubes, los grados de libertad disminuyen, eliminando posiblemente la correlación resultante por no contar con la confianza requerida (que depende de la correlación y los grados de libertad). De esta manera se filtran nubes del proceso evitando vectores resultantes del desplazamiento asociado al movimiento y ubicación de nubes. Aquí hace falta verificar la hipótesis estadística que cada píxel en la imagen es un dato independiente si se quiere tomar como grados de libertad como el número de datos menos uno.

2.1.4 Filtrado de resultados.

Los campos de velocidad resultantes no siempre muestran patrones coherentes con la física del océano cuando se observa la totalidad de los vectores resultantes en la misma imagen. Si se identifican los vectores erróneos y se filtran, los vectores filtrados muestran flujos coherentes según la física del océano. El filtrado del CCAR se lleva a cabo en tres partes: La primera consiste en eliminar vectores que se hayan obtenido con una correlación menor a un valor crítico. Dependiendo del tamaño de la matriz la correlación dicta un porcentaje de confianza. El porcentaje de confianza está en función del número de datos en la matriz (grados de libertad si es que son datos independientes) y la correlación obtenida. Durante el proceso se especifica la mínima correlación aceptable así como el número de datos en la matriz de búsqueda, permitiendo controlar el porcentaje de confianza con el cual se desea trabajar. Los vectores obtenidos con correlaciones menores al valor establecido se eliminan. Así los

tamaños típicos de las matrices utilizadas en esta metodología ofrecen porcentajes de confianza de ~95% con correlaciones de 0.7 (Emery *et al.*2003). Mientras se utilicen matrices de por lo menos 20 x 20 píxeles se pueden ignorar hasta el 40% de los datos (ignorados por ser considerados como nubes por sus bajos valores de irradiancia) sin que la estadística cambie significativamente (Emery *et al.*1991).

La segunda parte del filtrado se basa en la comparación de cada vector con los 8 vectores vecinos más cercanos. Se especifica la máxima diferencia de velocidad aceptable entre el vector bajo inspección y los 8 vectores más cercanos. Los vectores vecinos que tienen una diferencia de velocidad mayor a este valor son etiquetados como un "mal vecino". También se debe especificar el mínimo número de "buenos vecinos" que debe tener un vector para no ser eliminado. Si el vector bajo inspección no tiene por lo menos este número de "buenos vecinos" es eliminado"

Por último, se especifica la máxima velocidad aceptable en unidades de cms^{-1} . Las velocidades mayores que el valor especificado aquí son eliminadas. La resolución de las imágenes utilizadas y el tiempo de diferencia entre las imágenes deben ser considerados en este valor, sobre todo cuando la resolución es de 4 km. por píxel y la mínima distancia que se puede recorrer es por ende 4 km.

2.1.5 Validación y precisión del método.

Para el año 2001 un equipo de investigadores de Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda contaba con una serie de tiempo de 7 años de velocidades superficiales obtenidas con la MCC. Bowen *et al.* publican en el 2002 una media de 8000 velocidades mensuales para la Corriente Este de Australia (excluyendo un año de intensas lluvias) a pesar de una cobertura climatológica de nubosidad del 70% en la región de estudio. Reportan también, como es de esperarse mayor número de velocidades en zonas de baja nubosidad con gradientes térmicos persistentes. Los gradientes térmicos ayudan al método al proporcionar rasgos característicos que sirven como trazador. En un campo homogéneo por ejemplo donde la temperatura es constante el método aquí descrito basado en el uso de la MCC no puede identificar a donde se movió la matriz de búsqueda pues la correlación en este caso carece de sentido.

La precisión del método es de aproximadamente $20 \text{ cms}^{-1} \text{ rms}$ (estimado a partir de las covarianzas con desfase del campo de velocidades) con la capacidad de mejorar hasta $0.08 \text{ ms}^{-1} \text{ rms}$ con parámetros de filtrado mas estrictos. Esta precisión del método está ligeramente por debajo de los resultados obtenidos por Tokmakian *et al.* (1990), con las velocidades obtenidas usando la MCC entre dos imágenes en las cuales se había advectado la temperatura por medio de un modelo. Esto lo explica Bowen *et al.*

(2002) como algo natural, puesto que en imágenes reales de temperatura existen flujos de calor que afectan los resultados finales.

Así mismo, comparaciones con velocidades obtenidas por altimetría (Wilkin *et al.*, 2002), con geostrofia a partir de mediciones de CTD, boyas de deriva (Emery *et al.*, 1986), modelos numéricos (Tokmakian *et al.*, 1990, Emery *et al.*, 1991) y con velocidades obtenidos de radares de alta frecuencia (Alberotanza y Zandonella, 2004) muestran que la MCC es un método confiable y práctico para conocer velocidades superficiales en la mar.

2.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO PARA ESTIMAR VELOCIDADES EN EL GOLFO DE TEHUANTEPEC.

2.2.1 Descripción del área de estudio.

Se ha elegido como área de estudio para esta tesis el Golfo de Tehuantepec (figura 3) porque:

a) es una zona donde es viable derivar velocidades advectivas superficiales utilizando imágenes satelitales debido a que existen fuertes gradientes térmicos y

b) la Facultad de Ciencias Marinas (FCM) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) en colaboración con el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) y la Universidad del Mar (UMar) en Oaxaca han iniciado un proyecto de por lo menos tres años de duración a cargo del Dr. Reginaldo Durazo (FCM-UABC) financiado por

CONACYT (No. U40822-F) en el Golfo de Tehuantepec utilizando radares de alta frecuencia para la medición de corrientes superficiales. En este proyecto llamado Corrientes y Oleaje en el Golfo de Tehuantepec (COGOTE), se medirán corrientes utilizando radares HF con lo cual será posible corroborar los resultados de este trabajo con mediciones efectuadas con tecnología de punta. Otro aspecto ventajoso es la posibilidad de ampliar el área abarcada por los radares HF que se instalarán en Oaxaca. Los radares están limitados a un área determinada (~ 100 x 100 km). Fuera de esta área, insuficiente para estudios de mesoescala, se desconoce el campo de velocidades. Si el método propuesto en este proyecto concuerda bien con lo observado en el área abarcada por los radares, será posible ampliar el área para la cual se conocen velocidades advectivas, utilizando los resultados de este trabajo para abarcar un área mucho mayor (~ 500 x 500 km).

Aunado a esto, el Dr. Antonio Martínez está a cargo de un proyecto financiado también por CONACYT y cuyo objetivo es el estudio de procesos de mesoescala mediante el uso de imágenes satelitales y modelación numérica. Será por ello posible comparar los resultados obtenidos en este trabajo con las velocidades geostróficas obtenidas a partir de datos de altimetría.

Además de estas ventajas, se puede mencionar que tanto los datos de radar como los de las metodologías que utilizan percepción remota pueden ser utilizados como condiciones iniciales (para la superficie) en los esfuerzos de modelación que se llevarán a cabo como parte de los proyectos.

Por último cabe mencionar que la zona tiene una alta nubosidad tanto sobre la porción terrestre (principalmente en la sierra, figura 3) como en la mar.



Figura 3. Área de estudio: el Golfo de Tehuantepec donde se pueden observar rasgos de topografía y batimetría. Nótese la sierra en ambos lados del Istmo de Tehuantepec, Tomado de: <http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm>

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En esta sección de la tesis se presenta una secuencia de 5 campos de velocidades obtenidos con imágenes de AVHRR entre el 11 al 17 de Enero de 2005, así como los resultados descritos detalladamente en el apéndice A.7 (las imágenes utilizadas son del 12 de febrero de 2005). De estos campos se discuten características dinámicas de la circulación en el Golfo de Tehuantepec y se comentan también algunos aspectos técnicos sobre la obtención de las velocidades con la metodología del CCAR. Se verá como la metodología descrita en esta tesis presenta grandes ventajas e importantes resultados, sin por ello ser infalible ó suficiente por si misma para estudios oceanográficos.

La secuencia de 5 campos vectoriales entre el 11 y 17 de Enero de 2005 es un claro ejemplo de cómo la nubosidad, la ausencia de imágenes y los defectos parciales en imágenes utilizadas, pueden afectar en mayor o menor grado la obtención de velocidades usando la MCC. Se discute al respecto para ilustrar algunos casos comunes que el usuario de esta metodología podría encontrar.

Se observa que las características de las corrientes superficiales observadas con el MCC pueden coincidir con resultados obtenidos por métodos completamente independientes. En la figura 4 por ejemplo, los rasgos obtenidos por la MCC coinciden con corrientes geostróficas obtenidas por altimetría satelital durante el mismo periodo de tiempo (12 de Enero de 2005). Obsérvese

que hay velocidades que no coinciden con el flujo observado tanto cerca de la costa ($\sim -94.25^{\circ}\text{W}$, 15.5°N) como alejadas de la misma ($\sim -96.5^{\circ}\text{W}$, 13.25°N).

Algunas explicaciones para la discrepancia de velocidades entre las obtenidas por altimetría y por la MCC son:

- 1) Las velocidades obtenidas no coinciden en tiempo, hay discrepancias entre los 1.5 y los 3.5 días.

- 2) Cerca de la costa los datos satelitales de altimetría son deficientes por aspectos técnicos de los sensores utilizados y deben tomarse con precaución. Obsérvese por ejemplo en la figura 4, que las velocidades de altimetría que están a una latitud de 15.5°N o más tienen todas las mismas direcciones, y que es completamente opuesta a las direcciones de las velocidades encontradas a una latitud de 15°N o menos.

- 3) Las velocidades obtenidas por altimetría representan el flujo dominante para un periodo de tiempo de aproximadamente una semana, y se obtienen haciendo la asunción de que la mar está en balance geostrófico en el área estudiada. Las corrientes obtenidas por medio de la MCC en cambio, miden desplazamientos "observables" de masas de agua superficiales sin necesidad de asunción dinámica alguna. Son además una medición mas puntual en el tiempo pues se obtienen comparando imágenes que

generalmente tienen una diferencia de tiempo de 12 horas o menos. Si se compara con la necesidad de incorporar datos obtenidos a lo largo de una semana para determinar el flujo superficial dominante en un día, es claro que la MCC podría detectar rasgos de corrientes superficiales que no se pueden observar con altimetría.

4) Con altimetría no se estiman velocidades superficiales pues existe información del interior del océano. Con la MCC sólo se estiman velocidades superficiales.

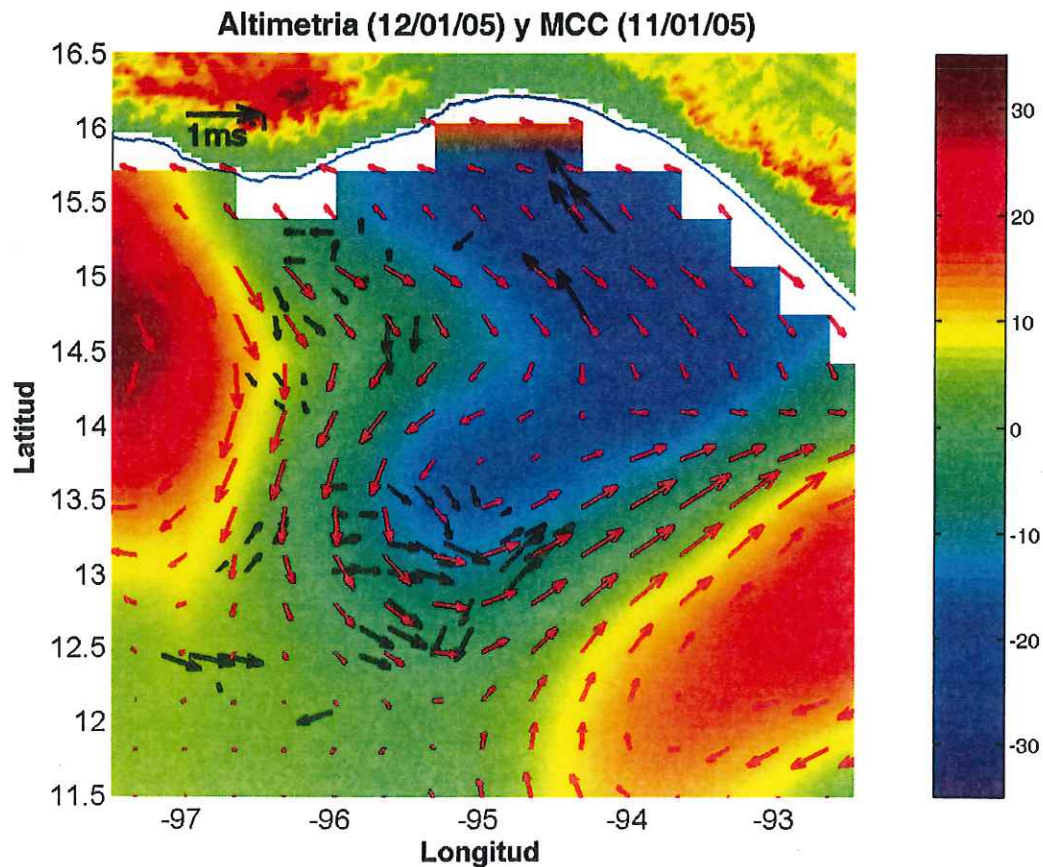


Figura 4. Campo de velocidades superficiales obtenidas por MCC para el 11 de Enero de 2005 en negro. Los vectores rojos son velocidades obtenidas por altimetría para el 12 de Enero. La escala de colores sobre la mar es la altura dinámica en cm, sobre la porción terrestre los colores son topografía en unidades de 10^2 m.

La secuencia de 5 días continúa en la figura 5 donde se observa un claro desacuerdo entre MCC y altimetría. Nótese también que debajo de la latitud de $\sim 13.5^\circ\text{N}$ no hay vectores obtenidos por la MCC. Esto se debe a que una de las imágenes utilizadas no contaba con datos por debajo de esa latitud pues el "swath" del AVHRR llegó hasta esa latitud durante la adquisición (figura 6). Con esta figura se muestra una de las posibles causas que evitan la obtención de

velocidades MCC en ciertas regiones de una imagen (otra sería nubosidad intensa).

Obsérvese además que la gran mayoría de las velocidades MCC de la figura 5 apuntan en direcciones muy semejantes (todas hacia la costa excepto por un par de vectores). Esto sugiere la posibilidad que la MCC detectó un corrimiento en la imagen, sucedido al momento de su adquisición. Es común que los datos cercanos a los límites del "swath" sufran de distorsiones. Esto sería un fenómeno semejante al procedimiento utilizado para la corrección de actitud automatizada (sección 2.1.3) durante la navegación de imágenes. Esto corroboraría el hecho conocido de que velocidades obtenidas con datos cercanos a los límites del "swath" del AVHRR deben tomarse con precaución como consecuencia de las distorsiones mencionadas (Dan Baldwin 2005, comunicación personal).

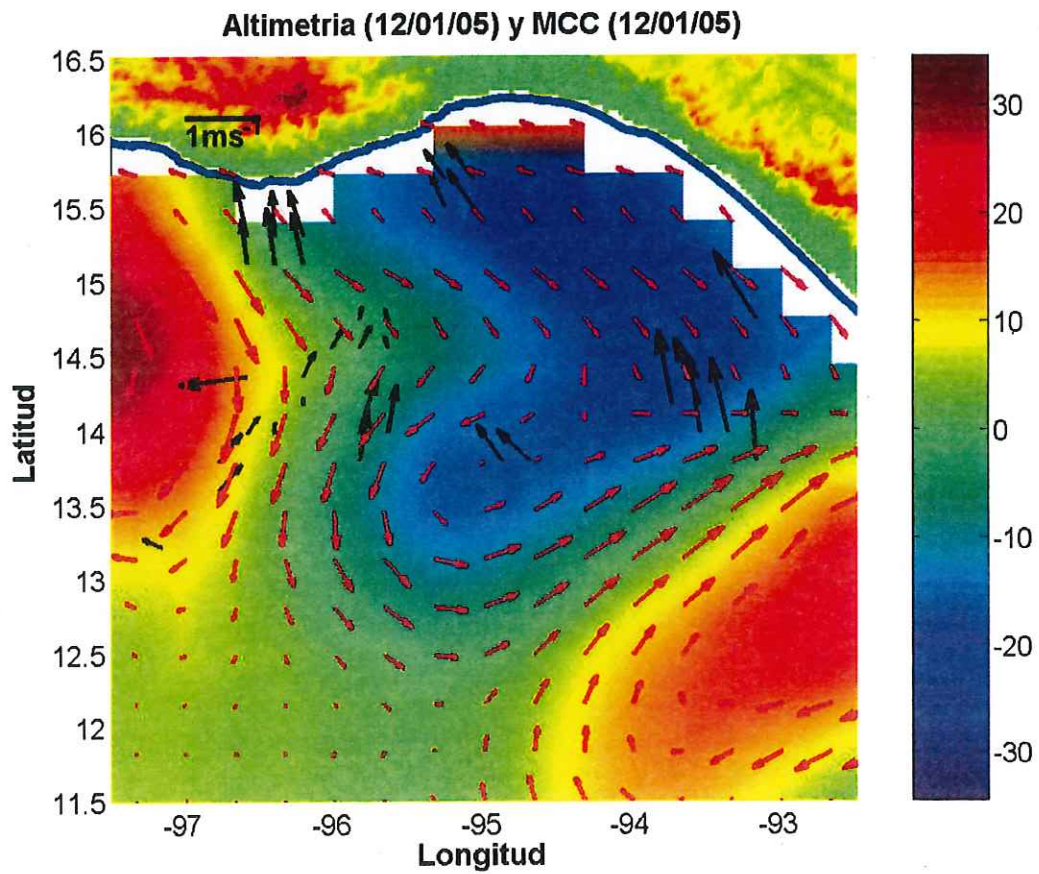


Figura 5. Igual que en la figura 4 con velocidades MCC para el 12 de Enero de 2005 y con velocidades de altimetría del mismo día.

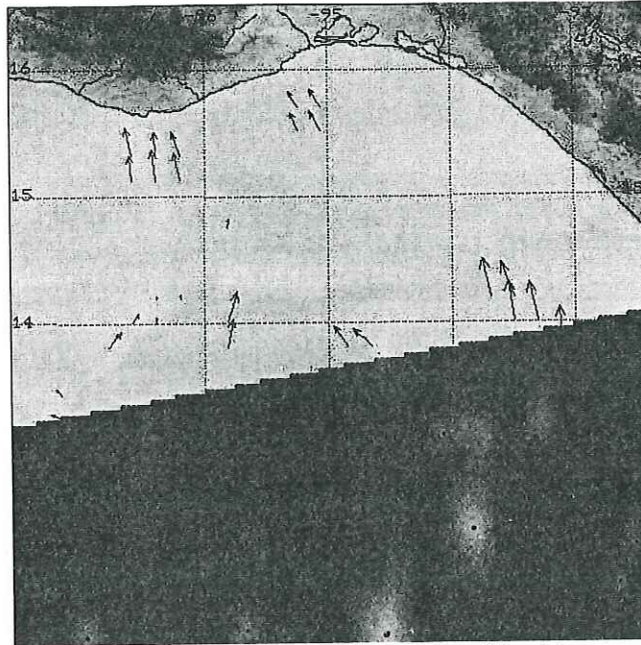


Figura 6. Se muestra una de las imágenes utilizadas en la obtención de velocidades MCC para el día 12 de Enero de 2005 con velocidades MCC. La franja negra en la parte inferior de la imagen muestra la zona que quedó fuera del "swath" del AVHRR.

En la figura 7 se puede observar que los movimientos detectados por MCC coinciden de nuevo con los resultados de altimetría mostrando coherencia en general. Se observa así mismo diferencias entre los resultados de ambos métodos confirmando en ambos casos lo discutido anteriormente.

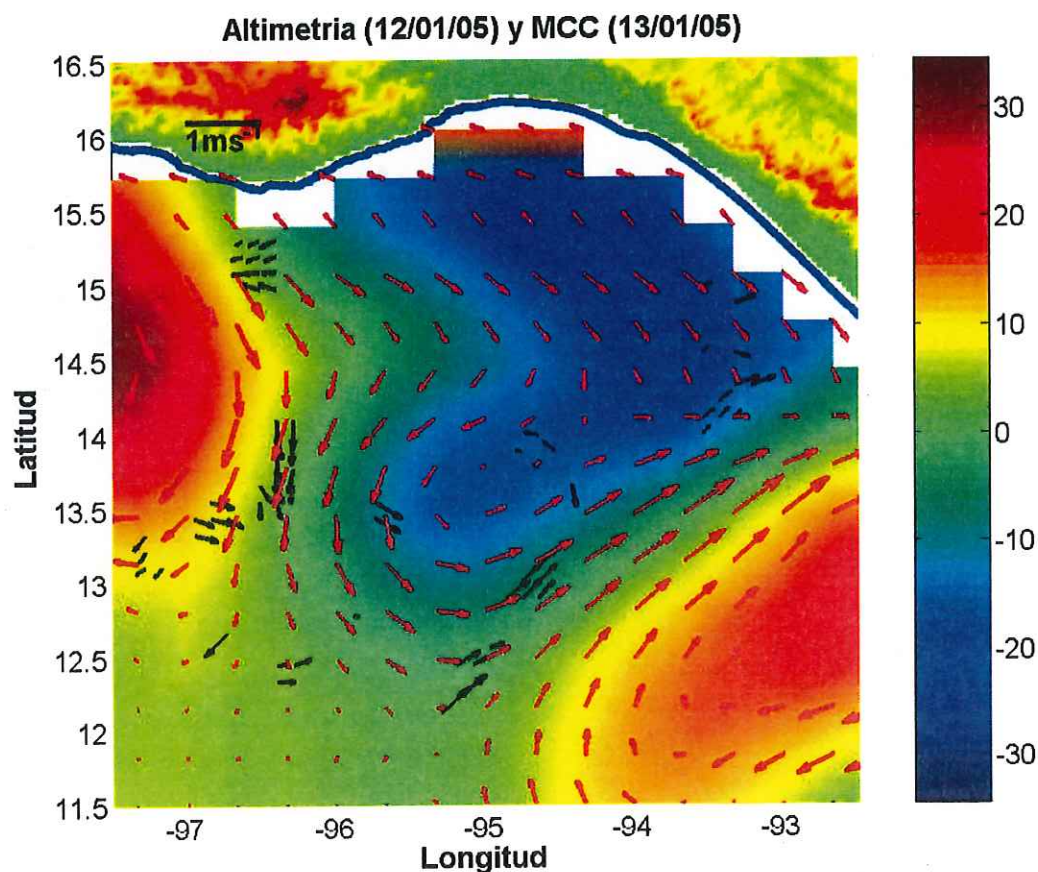


Figura 7. Campo de velocidades superficiales obtenidas por MCC para el 13 de Enero de 2005 en negro. Los vectores rojos son velocidades obtenidas por altimetría para el 12 de Enero 2005. La escala de colores es la misma que en la figura 4.

En la figura 8 se observa un remolino que se ha separado. El patrón de circulación cerrada alrededor del centro de baja presión ubicado alrededor de la latitud 13.6°N y -95.4°E es más evidente en las velocidades obtenidas por la MCC.

La figura 9 muestra poca coherencia entre las velocidades derivadas de altimetría y las obtenidas mediante la MCC. Una posible causa de estas diferencias es que los datos de la MCC corresponde al 17 de Enero de 2005,

mientras que las velocidades geostróficas corresponden al 15 de Enero (son las mismas que en la figura 8). Esta diferencia de tiempo es debida la cobertura temporal de los datos de altimetría que es semanal impidiendo en ocasiones la coincidencia en tiempo entre los dos métodos.

La secuencia de imágenes no cuenta con resultados para el 14 o para el 16 de Enero del 2005 por no haber imágenes de AVHRR utilizables para la MCC (diferencias de tiempo demasiado grandes entre las imágenes de esos días).

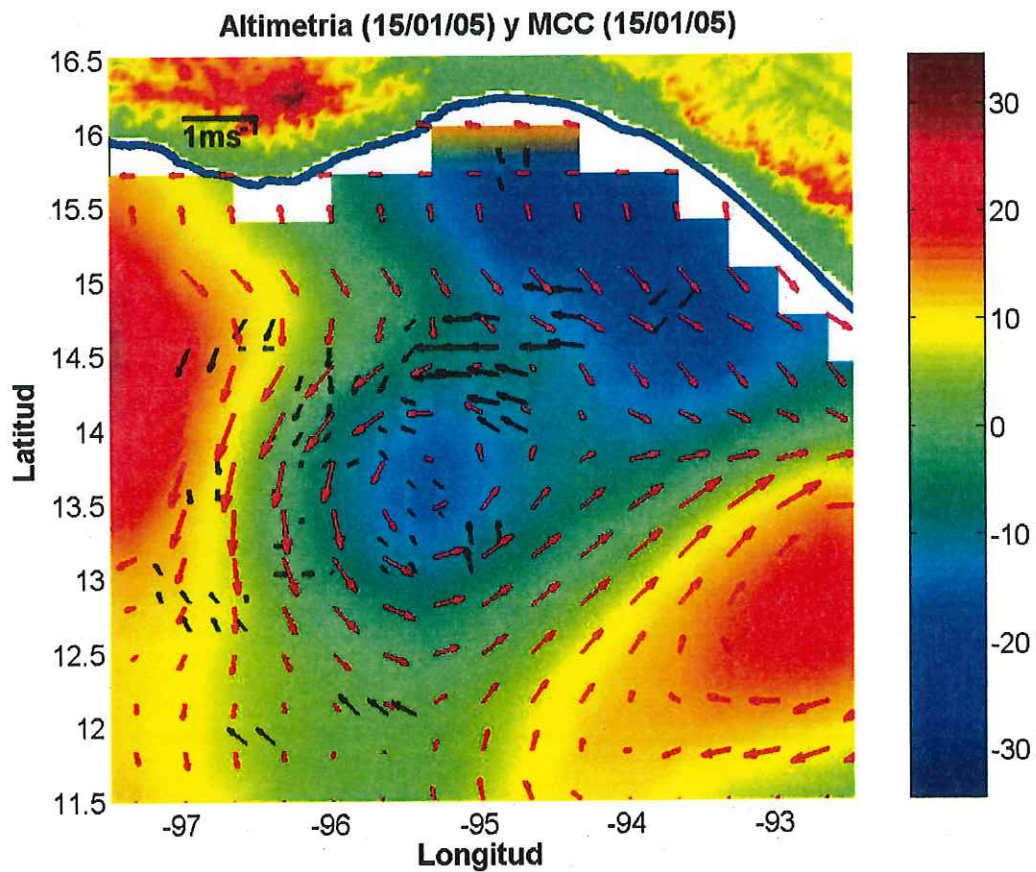


Figura 8. Misma nomenclatura que en la figura 4 con velocidades MCC del 15 de Enero de 2005 y altimetría del mismo día.

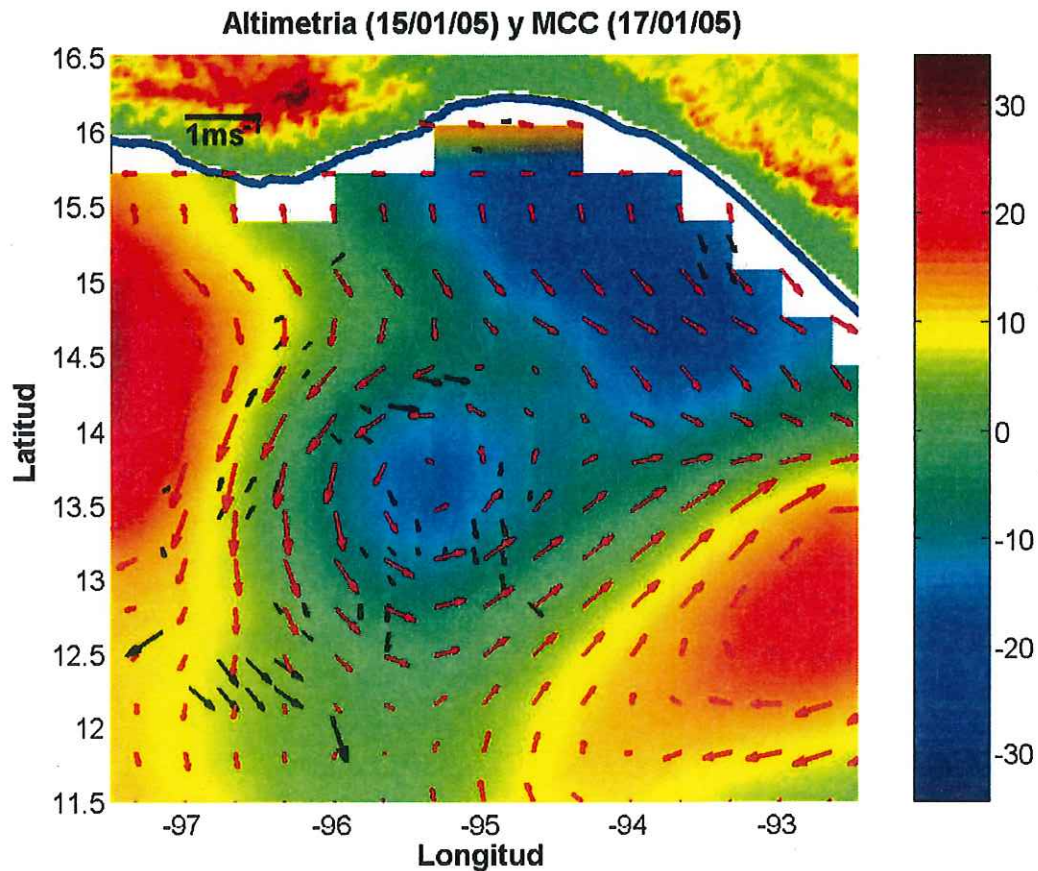


Figura 9. Misma nomenclatura que en la figura 4 con velocidades MCC del 17 de Enero de 2005 y altimetría del 15 del mismo mes.

En la figura 10 se presentan los primeros vectores de velocidad obtenidos por MCC durante este proyecto de tesis (la obtención está descrita paso a paso en el apéndice A.7). Se comparan con altimetría y con resultados de los radares de alta frecuencia del proyecto COGOTE. Esta última comparación fue posible gracias a la densidad de vectores MCC obtenidos para este día, en la región de cobertura de los radares.

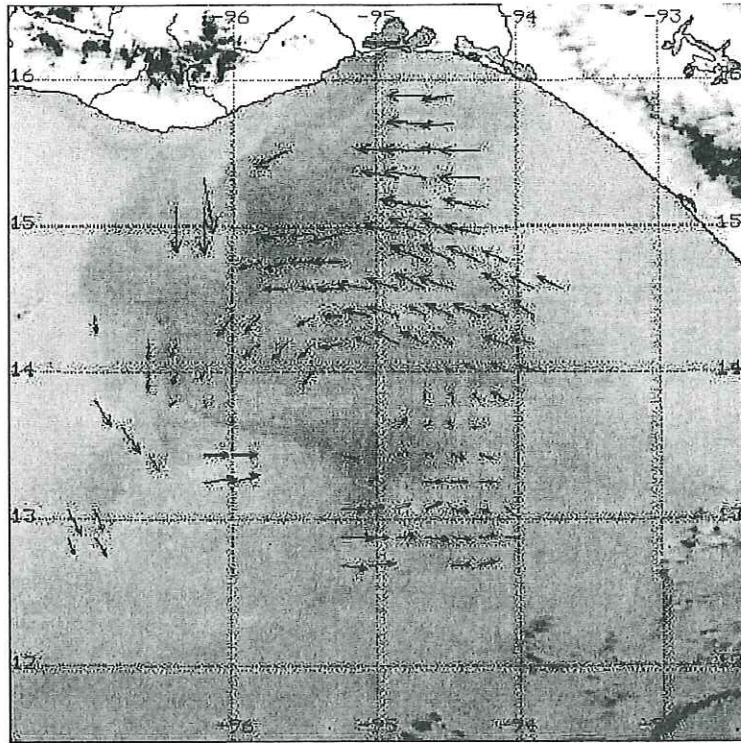


Figura 10. Campo de velocidades superficiales para el 12 de Febrero de 2005. Tonos de gris representan temperatura en escala arbitraria donde tonos oscuros representan zonas frías (nótese las nubes sobre la sierra de color negro) y las zonas calientes son representadas por tonos claros.

Uno de los rasgos característicos del Golfo de Tehuantepec es la circulación anticiclónica, y sin embargo en las figuras 10 y 14.A se muestra claramente una circulación ciclónica. La dominancia de la circulación anticiclónica sobre la ciclónica ha sido objeto de la mayor parte de los estudios encontrados en literatura especializada (McCreary *et al.* (1989), Clarke *et al.* (1988), Trasviña *et al.* (1995)). En particular Clarke *et al.* (1988) explica la dominancia de la circulación anticiclónica como una consecuencia del viento, que es acanalado por las montañas de la sierra (Paso Chiveca). Al desembocar

al mar, el viento se comporta inercialmente desviándose a la derecha de su dirección de avance, formando un campo de viento con tendencia anticiclónica (figuras 11 A, D, E y F). Esto a su vez fomenta una circulación oceánica también anticiclónica. McCreary *et al.* (1989) explica el debilitamiento de la circulación ciclónica como un proceso de abordamiento inducida por el viento. Sin embargo Clarke *et al.* (1988) estima que el abordamiento necesario requiere de un viento mucho mas intenso del observado. Los resultados aquí presentados muestran un viento del Norte (ó Tehuano) durante enero 11, 12 15 y 17; así como durante el 12 de febrero. En todos los casos el viento muestra una tendencia inercial, similar a la descrita por Clarke *et al.* (1988), pero en todos los casos observados la circulación es claramente ciclónica.

Este remolino ciclónico está centrado en una masa de agua fría, que aparenta ser una lengüeta que se desprende de la costa. Los patrones de este tipo han sido comúnmente observados ante la presencia de vientos del norte mostrados en la figura 11 para los días 11, 15 y 17 de enero del 2005 así como para el 12 de febrero de 2005.

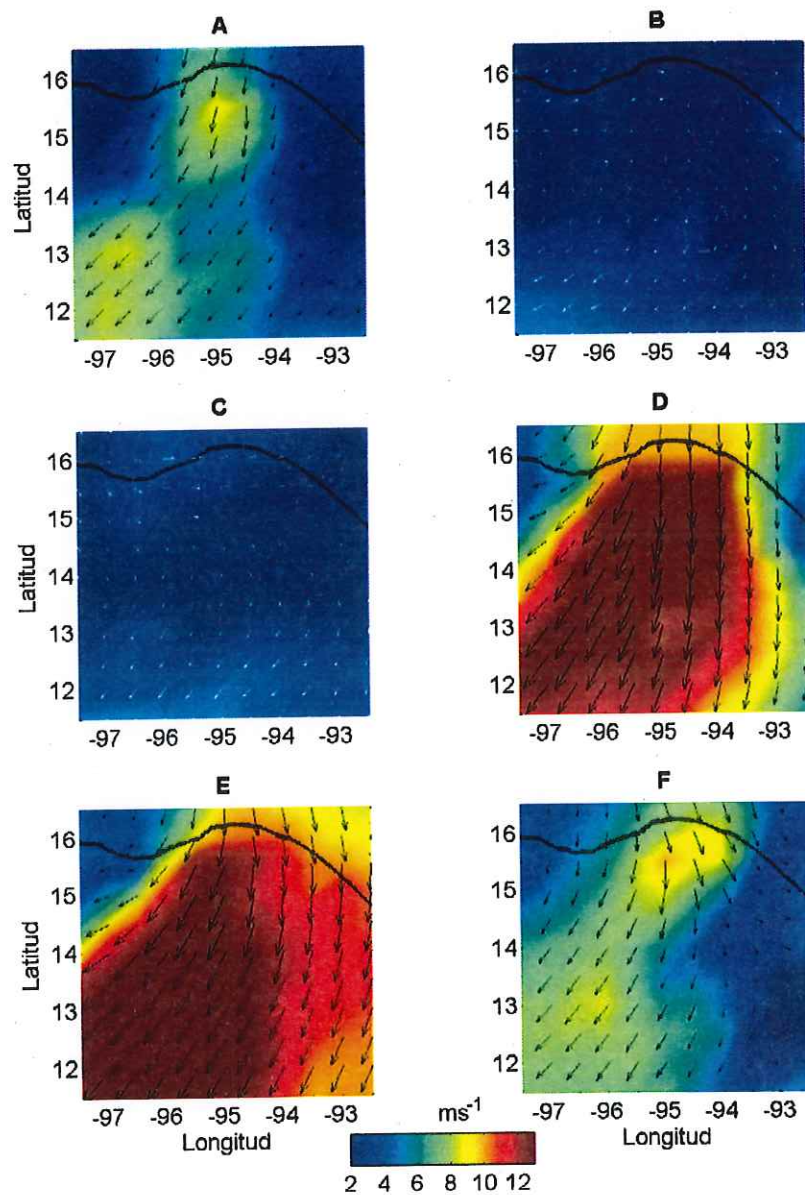


Figura 11. Viento para los días en que se presentan velocidades obtenidas por MCC. Los campos de viento fueron obtenidos mezclando datos de satélite Quikscat y del modelo numérico de NCEP (Milliff *et al.*, 1999). La escala de colores es la magnitud en ms^{-1} . **A.** 11 de enero de 2005. **B.** 12 de enero de 2005. **C.** 13 de enero de 2005. **D.** 15 de enero de 2005. **E.** 17 de enero de 2005. **F.** 12 de febrero de 2005.

En la figura 12 se observa también una depresión en la altura dinámica que coincide con la zona fría en la figura 14.A, mostrando consistencia entre los efectos de la altura dinámica sobre la circulación geostrófica y el remolino ciclónico captado por la MCC. Los datos de circulación cercanos a la costa, obtenidos por altimetría están una vez más en contraposición con los vectores obtenidos por MCC. El resto de los patrones de circulación coinciden bastante bien.

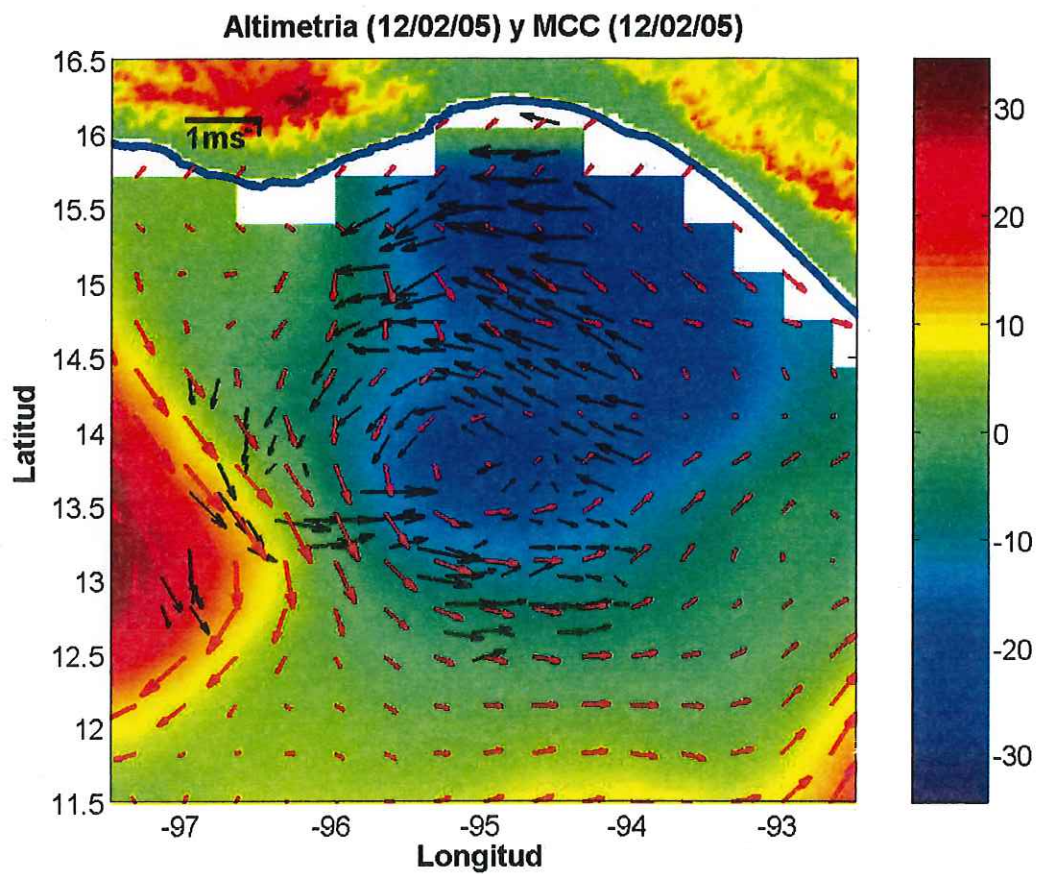


Figura 12. Mismo campo de velocidades que en la figura 4 (vectores negros son MCC filtrados) con vectores de altimetría (en rojo). Sobre la mar la escala de colores es la altura dinámica en cm, sobre la porción terrestre los colores son topografía en 10^2 m.

Al comparar los datos de la MCC con los datos obtenidos por medio de los radares de alta frecuencia del proyecto COGOTE se observa que el flujo coincide bien tanto en magnitud como dirección. En la figura 13 observamos una comparación entre las velocidades obtenidas por medio de los radares y las velocidades resultado del MCC. Los vectores del MCC han sido

graficados antes de ser filtrados. Este ejemplo muestra claramente las ventajas de las velocidades obtenidas por medio de la MCC. No sólo muestran gran calidad, sino que las velocidades de satélite se extienden a una región espacial mucho mayor, complementando y ampliando la información obtenida por medio de los radares (ver la diferencia de coberturas en la figura 14.A). Obsérvese también en la figura 13 que en este caso los datos sin filtrar de la MCC muestran sutilezas del flujo captadas también por los radares, como por ejemplo el vector ubicado en las coordenadas aproximadas de -95.45°W y 15.9°N . Este vector se ha perdido durante el filtrado (figura 14.A) al compararse con vectores vecinos por ser un vector "solitario" (sección 2.1.4).

Nótese en las figuras 14.C y 14.D como para este caso en particular son relativamente pocos los vectores incoherentes con el flujo observado, a pesar de utilizar los datos sin pasar por la parte del filtro que utiliza comparaciones con los vecinos cercanos. Comparando con la figura 14 se demuestra que esta parte del filtrado del CCAR elimina los vectores incoherentes (figuras 11, 12 y 14.A), con la desventaja de perder además, algunos vectores que pueden ser coherentes con el flujo observado.

Con estas comparaciones se sugiere lo complicado que es determinar los vectores erróneos sin contar con medios de comparación. Se establece también la posibilidad de extraer información útil a partir de la MCC si se utiliza sinergia, información que de otra manera se pierde. La correspondencia entre

los campos de velocidades obtenidas por la MCC y radares de alta frecuencia parece mayor, que al comparar con velocidades geostróficas, aunque la cobertura de los radares es mucho menor. Esto puede ser debido a la disposición de datos horarios en el sistema de radares que permite la obtención de campos de velocidad coincidentes en el tiempo con los obtenidos por la MCC.

Promedio HF (15-22 hrs GMT-6) vs MCC

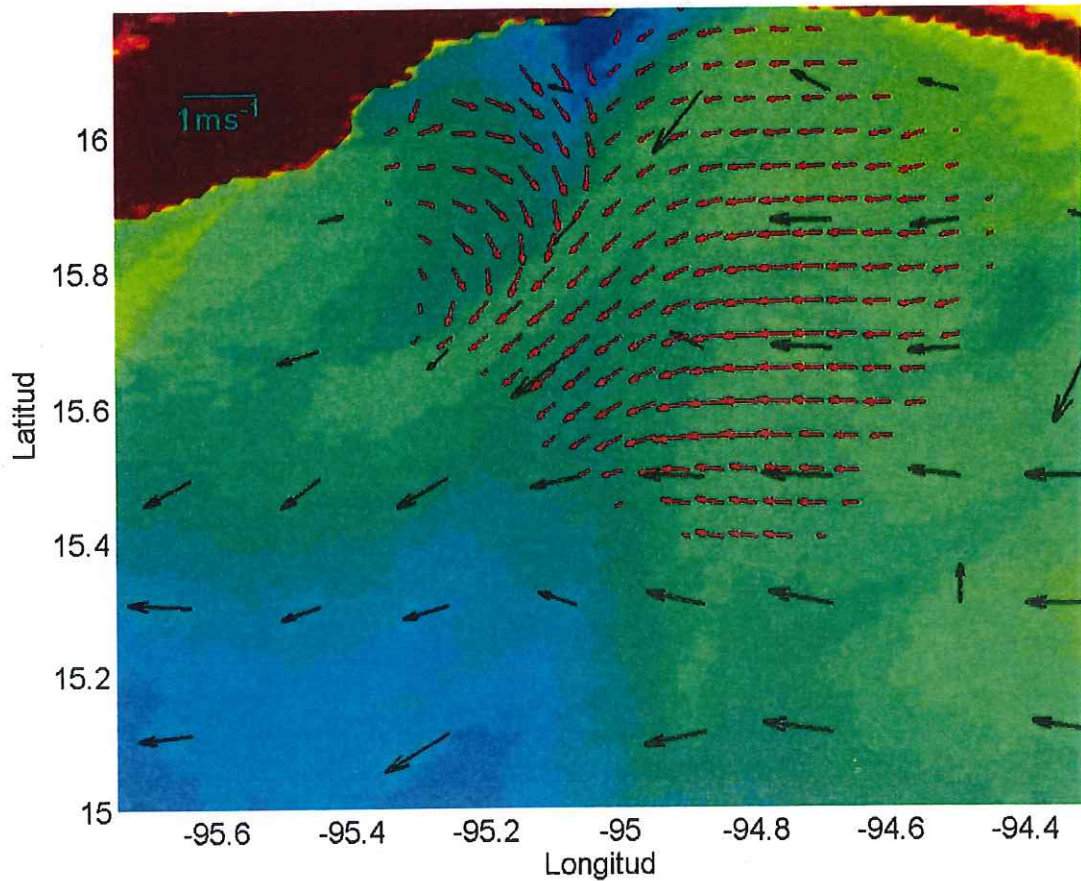


Figura 13. Comparación de velocidades de radares de alta frecuencia. Los vectores rojos son el promedio de datos cada hora desde las 15 hasta las 22 hrs. GMT-6) y los vectores negros son velocidades obtenidas por medio del MCC (apéndice A.7). Para obtener estos vectores se utilizó una imagen AVHRR adquirida entre las 15:07 y las 15:09 (figura 18) y otra imagen adquirida entre las 22:10 y las 22:12 GMT-6 (figura 19).

La circulación mostrada en la figura 13 muestra una separación de la costa que comienza alrededor del punto (-95°E, 16.1°N). Esta zona de separación muestra la temperatura mas baja en la costa y coincide con el máximo de intensidad del viento para el mismo día, (figura 11.F). La separación

parece ocurrir al converger una corriente costera dirigida hacia el oeste con una dirigida al este. Ambas corrientes son evidentes en los campos de velocidades obtenidas con ambos métodos. Resulta interesante el funcionamiento adecuado de la metodología MCC en una zona muy cercana a la costa.

La coincidencia en el espacio (región cercana a los -95°W y los 16°N) de las corrientes que convergen (observadas por MCC y radares), el mínimo de temperatura y el máximo en la intensidad del viento (figuras 11.F y 13), sugieren el valor de la MCC como herramienta de estudios oceanográficos a diferentes escalas espaciales.

En la figura 13 y 14 se puede observar también que la metodología MCC tiene la ventaja de proporcionar vectores coherentes cercanos a la costa. Esta es una ventaja que no ofrece la altimetría por satélite.

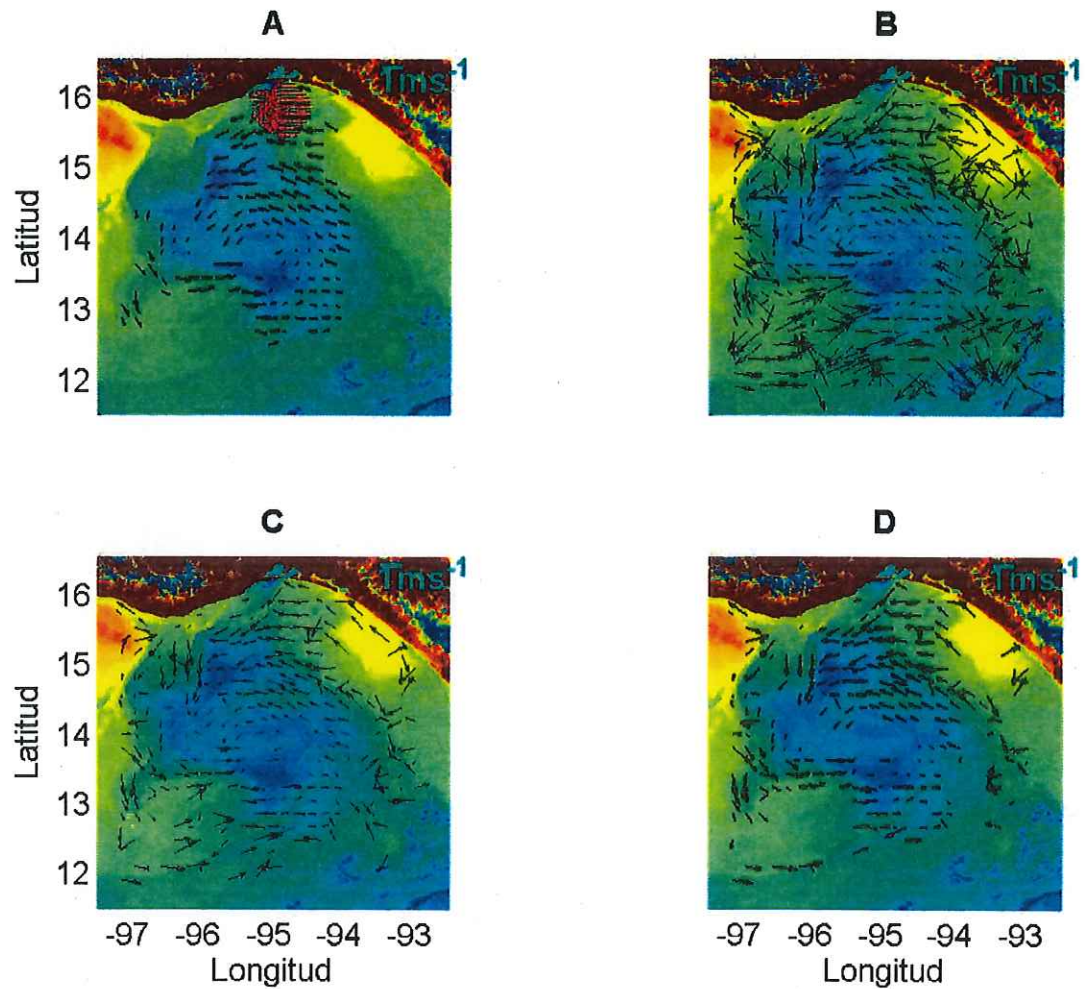


Figura 14. Velocidades MCC obtenidas en apéndice A.7 sobre temperatura arbitraria donde azul es más frío y marrón representa las temperaturas más calientes.

A. Velocidades filtradas con metodología CCAR (ver 2.1.4).

B. Velocidades sin filtro alguno.

C. Solamente se han eliminado tanto los vectores obtenidos con correlaciones menores a 0.5, como las velocidades con rapidez mayor a 120 cm s^{-1} .

D. Se han eliminado tanto los vectores obtenidos con correlaciones menores a 0.8, como las velocidades con rapidez mayor a 120 cm s^{-1} .

4. SUMARIO.

Los campos de velocidades obtenidos con la MCC muestran coherencia adecuada en general con las velocidades geostróficas obtenidas a partir de altimetría satelital.

Los campos de velocidad obtenidos por la MCC resultan más parecidos a los obtenidos con el sistema de radares de alta frecuencia. Esto en parte era de esperarse ya que ambos métodos miden corrientes superficiales.

Es necesario adquirir experiencia tanto en la adquisición de imágenes como en el proceso de filtrado. Esta experiencia se obtiene a prueba y error. La comparación de las velocidades obtenidas usando métodos alternativos puede ser de gran ayuda.

Es probable que el filtrado de vectores erróneos sea la parte del procedimiento del CCAR que ofrece la principal oportunidad de trabajo futuro, esto con la finalidad de lograr filtrados que puedan discernir entre vectores erróneos y vectores coherentes con el flujo real con mayor precisión.

Con la metodología descrita en este trabajo fue posible identificar una circulación ciclónica durante eventos de viento del Norte. Los rasgos de esta circulación cercana a la costa no son mostrados por las velocidades geostróficas obtenidas de datos altimétricos. Los campos de velocidad de alta resolución medidos por los sistemas de radar de alta frecuencia son adecuados sólo cercanos a la costa. La MCC es capaz de mostrar rasgos en toda la región.

La estructura de la circulación ciclónica observada no muestra una clara conexión con la circulación cercana a la costa (figuras 13 y 14).

5. REFERENCIAS.

- Alberotanza L., A. Zandonella (2004).** Surface current circulation estimation using NOAA/AVHRR images and comparison with HF radar current measurements. *International Journal of Remote Sensing* 10-20 Vol. 25, No. 7-8, 1357-1362
- Bowen M.M., W.J. Emery, J.L. Wilkin P.C. Tildesley, I.P. Barton, R. Knewston (2002).** Extracting Multiyear Surface Currents from Sequential Thermal Imagery Using the Maximum Cross-Correlation Technique.
- Clarke, A.J. (1988).** Inertial wind path and sea surface temperature patterns near the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 93. No. C12..
- Emery W. J., A. C. Thomas, M. J. Collins, W. R. Crawford, D. L. Mackas (1986).** An objective method for computing advective surface velocities from sequential infrared satellite images. *Journal of Geophysical Research*, 91, 12 865–12 878.
- Emery W. J., C. Fowler, C.A. Clayson (1991).** Satellite Image Derived Gulf Stream Currents Compared with Numerical Results. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Vol. 9 286-304.

Emery W. J., D. Baldwin, D. Matthews (2003). Maximum Cross Correlation Automatic Satellite Image Navigation and Attitude Corrections for Open-Ocean Image Navigation. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Vol. 41, No. 1, January 2003.

Kamachi, M. (1989). Advective surface velocities derived from sequential images for rotational flow field: Limitations and applications of maximum cross correlation method with rotational registration. Journal of Geophysical Research 94, 18227-18234

Matthews, D. (2003). Mapping the California Current using AVHRR Thermal Images Merged with Altimeter Data. Colorado Center for Astrodynamics Research. University of Colorado at Boulder. Boletín interno no publicado.

McCreary J.P. Jr., H.S. Lee D.B. Enfield (1989). The response of the coastal ocean to strong offshore winds: With application to circulation in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo. Journal of Marine Research. 47, 81-109.

Milliff, R. F., W. G. Large, J. Morzel, G. Danabasoglu, and T. M. Chin, (1999). Ocean general circulation model sensitivity to forcing from scatterometer winds. Journal of Geophysical Research 104, 11337-11358.

Rosborough G.W., D.G. Baldwin, W.J. Emery (1994). Precise AVHRR Image Navigation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. 32, No. 3, 644-657

Tokmakian, R., P.T. Strub, J. McClean-Padman (1990). Evaluation of the Maximum Cross-Correlation Method of Estimating Sea Surface Velocities from Sequential Satellite Images. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. Vol. 7. No. 6, 852-865.

Trasviña A., E. D. Barton, J. Brown, H. S. Velez, P. M. Kosro and R. L. Smith (1995)... Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: The asymmetric circulation. Journal of Geophysical Research. Vol. 100, No. C10.

Wilkin J.L., M.M. Bowen, W.J. Emery, (2002). Mapping mesoscale currents by optimal interpolation of satellite radiometer and altimeter data. Ocean Dynamics, 52, 95-103.

APÉNDICE A.

MANUAL DE LA PAQUETERÍA DEL COLORADO CENTER FOR ASTRODYNAMICS RESEARCH PARA OBTENER VELOCIDADES SUPERFICIALES EN LA MAR A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES SECUENCIALES (AVHRR).

El presente es una guía paso a paso del procedimiento necesario para obtener velocidades de corrientes superficiales a partir de imágenes satelitales obtenidas con el radiómetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de manera automatizada y objetiva. La terminología aquí utilizada ha sido descrita o definida en diversas publicaciones que se irán mencionando oportunamente. Algunas de estas publicaciones están disponibles al hacer búsquedas en Internet.

El software para esta metodología está escrito en lenguaje C y fue creado para utilizarse con Linux o UNIX exclusivamente. Es necesario contar con el compilador de "C", el cual es distribuido libremente con dichos sistemas operativos. De manera auxiliar se requiere utilizar un programa llamado IDL (de Kodak Company) para visualizar las imágenes procesadas. Aunque no es imprescindible, se sugiere que se utilice dicho programa ya que el Colorado Center for Astrodynamics Research (CCAR) ha creado un interfaz gráfico (llamado idlsho) que satisface las necesidades específicas a esta metodología. De no usarse idlsho, es necesario crear programas en la paquetería que se

vaya a utilizar (*i.e.* Matlab®), que satisfagan las necesidades de la metodología. En caso de seguir este camino se sugiere contactar directamente al personal del CCAR para obtener la información requerida para lograr este objetivo.

Se puede obtener una versión de prueba de IDL en la dirección <http://www.rsinc.com/download/index.asp> . Esta versión de prueba actualmente sólo funcionará por 7 minutos cada vez que se inicia y pero no permite salvar o imprimir las imágenes lo que impide trabajar adecuadamente. Se sugiere conseguir una licencia permanente y de no ser posible solicitar una licencia de prueba con el representante regional (<http://www.rsinc.com/whoweare/TeamInfo.asp>) con la cual se podrá utilizar IDL de manera ilimitada durante el periodo de prueba. La licencia de prueba vence cuando el calendario de la computadora que se este utilizando llegue al día en que se cumplen los 30 días a partir de la obtención de la licencia.

A.1 Obtención e instalación del software.

1. Bajar los siguientes archivos de <ftp://ccar.colorado.edu/pub/nav> :

auto_pack.tar

autonudge.tar

motion.tar

NAV.tar

idl_sho.tar

navigation.doc.ascii

FTP.NAVPACKAGE.README

ephemeris

2. Mover todos los archivos al directorio de su preferencia que para fines prácticos llamaremos /dir_preferido/.

3. Descomprimir NAV.tar y mover ephemeris a la carpeta NAV ya descomprimida (reemplazar el archivo existente). Para descomprimir escribir en una Terminal:

```
tar -xf NAV.tar
```

Nota: El archivo ephemeris contiene información que debe ser actualizada cada tres días bajando de nuevo el archivo ephemeris que se encuentre en la dirección de ftp usada en el paso 1. La actualización sólo es necesaria a partir del momento en que se inicie a navegar imágenes del sensor AVHRR (Sección C).

4. Abrir una terminal dentro del directorio NAV y correr:

```
./INSTALL
```

Ignórese cualquier advertencia.

5. Abrir el archivo `.bashrc` ó `.cshrc` (dependiendo del tipo de Linux o UNIX que se esté utilizando) y añadir en la trayectoria los directorios:

```
/dir_preferido/NAV/bin
```

```
/dir_preferido /NAV/AUTO_PACKAGE/AUTO_NUDGE
```

Como ejemplo se presenta a continuación la forma en que se añadieron los directorios anteriores en el archivo `.bashrc` para este trabajo de tesis:

```
PATH=$PATH:$/dir_preferido/NAV/bin
```

```
PATH=$PATH:$/dir_preferido/NAV/AUTO_PACKAGE/AUTO_NUDGE
```

6. Mover `auto_pack.tar` al directorio NAV y descomprimir:

```
tar -xf auto_pack.tar
```

Es necesario guardar el archivo `filt_new.cxx` en el directorio `AUTO_PACKAGE` (así es como se llama `auto_pack.tar` una vez descomprimido). Se sugiere solicitar este archivo a Dan Baldwin cuyo correo es Baldwin@colorado.edu pues mas adelante no se podrá avanzar sin este programa.

7. Correr desde una Terminal dentro del directorio `AUTO_PACKAGE` la instrucción:

```
./INSTALL_AUTO
```

Para verificar que la instalación ha sido exitosa continuar con:

```
cp -r EXAMPLE EXAMPLE_SAVE  
cd EXAMPLE  
./test_auto
```

De esta manera se salva el directorio EXAMPLE en otro directorio llamado EXAMPLE_SAVE para poder volver a correr la prueba en el futuro. Al correr la prueba (test_auto) dentro del directorio EXAMPLE se deben crear varios archivos los más importantes son temp.attfile.4 y test.4_att.4

Por último si se hace en la terminal:

```
cat temp.attfile.4
```

Esto debe resultar en:

```
-0.002892 0.008713 -0.001715
```

que son los valores de cabeceo, bamboleo y escoramiento para este ejemplo.

Esto indica que la instalación ha sido exitosa.

8. Dentro de una Terminal en el directorio NAV correr las siguientes instrucciones:

```
mkdir NAV_LAB  
cd NAV_LAB  
cp /dir_preferido/NAV/AUTO_PACKAGE/mp.seed .  
cp /dir_preferido/NAV/AUTO_PACKAGE/EXAMPLE/all_land.mask .
```

Nótese los puntos al final de las dos últimas instrucciones que indican que el nombre del archivo copiado permanecerá igual. Con esto el software está listo para navegar imágenes y corregir la navegación a ± 1 píxel.

Nota: Todas las imágenes a procesar deben guardarse en el NAV_LAB.

A.2 Adquisición de imágenes AVHRR a resolución 1.1 x 1.1 km.

Para este software se puede utilizar cualquier imagen de AVHRR nivel 1b (Level 1b) de los satélites NOAA. Puede verificarse información respecto a los satélites NOAA en el manual de usuario de los satélites polares en <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/podug/index.htm>

El satélite mas reciente, NOAA-18, se volvió operacional el 10/06/2005 y sus imágenes AVHRR se encuentran disponibles y en óptimo estado (Abril 2006). El software del CCAR en el sitio ftp mencionado aún no contiene la

información para procesar las imágenes de este satélite. Se sugiere contactar a Dan Baldwin (Baldwin@colorado.edu) para obtener los programas e instrucciones necesarias. Cada determinado tiempo la NOAA pone en orbita nuevos satélites y retira del servicio a los más antiguos. Se puede verificar el estatus de los satélites y sus sensores en la página <http://www.oso.noaa.gov/poesstatus/>

Las imágenes necesarias para la determinación de velocidades usando esta metodología se pueden obtener de manera gratuita en la dirección: <http://www.class.noaa.gov>

Será necesario abrir una cuenta oprimiendo Register y llenando la información necesaria. Un correo electrónico confirmará que ha sido registrado. Una vez registrado presione Login. Terminado el Login, elijase AVHRR y presione el botón: GO.

Elija las opciones según se muestra a continuación en la figura 15:

Datatype

- Global Area Coverage (GAC) 4KM Level 1B
- High Resolution Picture Transmission (HRPT) 1KM Level 1B
- Local Area Coverage (LAC) 1KM Level 1B

Node

- Ascending
- Descending
- Either

Receiving Station

- Dundee, Scotland UK
- Gilmore Creek AK
- Honolulu Hawaii
- Monterey CA
- Sioux Falls SD
- SOCC
- Western Europe
- Wallops Island VA

Satellite

NOAA-18	▲
NOAA-17	
NOAA-16	
NOAA-15	▼

Figura 15. Selección sugerida de opciones al momento de buscar imágenes Nivel 1b del sensor AVHRR. También se pueden seleccionar uno o más satélites específicos con el ratón. En caso de querer seleccionar más de uno utilice la tecla Ctrl. mientras selecciona con el ratón.

Si decide elegir satélites específicos, asegúrese que hayan estado operacionales durante el periodo de su interés. Ver <http://www.oso.noaa.gov/poesstatus/> para información sobre estos satélites. Nótese que las imágenes necesarias para este método son de una resolución de 1.1 km. que es la máxima resolución en AVHRR. Es por esto que las imágenes GAC de 4 km. no han sido seleccionadas en la figura 15.

Al final de la misma página se especifica el tiempo y espacio en el cual se desea hacer la búsqueda de imágenes (figura 16). La búsqueda mostrada es para el mes de Diciembre de 2005. La región de trabajo de esta tesis es -92.5,-97.5 W y 11.5, 16.5 N y está centrada en -95W, 14N. Bajo la opción **Spatial** se

pone el intervalo en la latitud completo, pero en la longitud apenas una línea delgada (de -95 a -94.9, ver mapa en figura 16). De esta manera se evita obtener como resultado de la búsqueda imágenes que apenas cubren una pequeña porción de la región completa. Las imágenes que apenas abarcan una pequeña porción de la región de trabajo no sirven para los propósitos de esta metodología y sin embargo quitan tiempo al revisar los resultados de la búsqueda.

Temporal

Start Date (format: YYYY-MM-DD) 2005-12-01	→	End Date (format: YYYY-MM-DD) 2006-01-01
Start Time (format: HH:MM:SS) 00:00:00		End Time (format: HH:MM:SS) 23:59:59
Specify the range of the times for: <input checked="" type="radio"/> Each Day Or <input type="radio"/> The Entire Range Of Days		

Spatial



Select Geometry: XY Plane

Note: XY Plane searches are resized to enforce a minimum lat/lon difference of 0.1 degrees.

Reset	Search	Save Criteria	Load Criteria	Dataset Name View
-------	--------	---------------	---------------	-------------------

Figura 16. Opciones para la determinación del lugar y periodo de tiempo a trabajar.

Nota: El mapa de la figura 16 ha sido agrandado lo más posible dentro de la página de internet con **Zoom In** (botón a la derecha de la imagen) para ilustrar lo descrito anteriormente.

Se recomienda salvar los criterios de búsqueda para cada búsqueda correcta que se haga, puesto que es posible recurrir a la misma búsqueda más de una vez. Para ello sólo debe presionarse el botón de **Save Criteria** y salvar con un nombre el cual identifique el mes y la región. Cuando se quiera repetir una búsqueda para los cuales los criterios han sido salvados, sólo es necesario presionar el botón de **Load Criteria** y cargar la búsqueda.

A.2.1 Selección de imágenes apropiadas.

Las imágenes que son útiles para el método que se describe requieren cumplir ciertos requisitos:

- 1) Debe contener por lo menos una cobertura de 10% en tierra para poder hacer ajustes de actitud automatizados.
- 2) La región debe ser de aproximadamente $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ ó $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ dependiendo de nuestra región de estudio.
- 3) La nubosidad debe ser suficientemente baja.

También se ocuparan imágenes bases para la navegación automatizada a ± 1 píxel de precisión (ver Emery *et al.* 2003). Para las imágenes base el resto de los requisitos son:

- 4) Muy baja ó nula nubosidad sobre la porción terrestre.
- 5) Misma estación del año (primavera, verano, otoño o invierno) que las imágenes a corregir.

- 6) Imagen diurna para la corrección de actitud en imágenes diurnas, e imagen nocturna para la corrección en imágenes nocturnas.

A.3 Navegación de imágenes.

Nota: A partir de esta sección se estará utilizando el interfaz gráfico idlsho, lo cual requiere de IDL. Una vez descomprimido idl_sho.tar se puede encontrar su funcionamiento en idl_sho\docs\usage.html. Se instala generalmente como \usr\local\idl_sho\run\idlsho.

1. Guardar las imágenes obtenidas en el directorio dir_preferido/NAV/NAV_LAB. Para fines prácticos, se sugiere cambiar el nombre de las imágenes por data01.l1b, data02.l1b, etc. aumentando en orden cronológico (l1b = level 1b). Se puede utilizar el comando "rename" de Linux dentro de una Terminal o hacerlo manualmente según se crea conveniente. Las instrucciones para este manual han sido escritas para imágenes con estos nombres, sin embargo se puede utilizar cualquier otra nomenclatura consistente. Otra buena opción es llamar las imágenes por su día juliano y la hora lo cual permite identificar las imágenes de manera práctica.

2. Abrir una Terminal dentro del directorio: /dir_preferido/NAV/NAV_LAB y correr los comandos:

a) `sdsfil15 -fdata01.fil -H < data01.l1b`

Se crea un archivo llamado data01.fil en donde se ha convertido la imagen nivel 1b al formato con el cual trabaja la paquetería desarrollada por CCAR.

Nota: Para los satélites NOAA-15 en adelante se utiliza sdsfil15 y para satélites previos al NOAA-15 se utiliza sdsfil.

b) calibcomp 1 L data01.fil /dir_preferido/NAV/cal

Este es el primer paso para la calibración de los datos, y crea un archivo COEFSS.xx, donde xx es el número de satélite del cual se obtuvo la imagen. Es necesario verificar cual es el número de satélite. El número de satélite se puede ver en el archivo COEFFS.xx dentro del directorio NAV_LAB (si es que sólo hay un archivo coeffs.xx en el directorio NAV_LAB) ó en el "verbose" del programa sdsfil15 en la Terminal). El número de satélite se utiliza para el siguiente comando:

c) rawcal15_new COEFFS.16 1 1 L /dir_preferido/NAV/cal
<data01.fil> data01.cal

Nótese que para este caso, el satélite es NOAA-16, y por lo tanto COEFFS.xx = COEFFS.16. Con este paso se crea un archivo llamado data01.cal. Terminado este paso la imagen esta calibrada y lista para el paso

final de la navegación. El archivo data01.cal se utilizara después de la navegación durante la corrección de actitud automatizada o posiblemente para la creación de la imagen base y por lo tanto no debe desecharse.

Nota: Para los satélites NOAA-15 en adelante se utiliza rawcal15_new y para satélites previos se utiliza rawcal.

```
d) navigate -idata01.cal -fdata01.calx -c24 -B -l44 -l1024 -m1024  
-tlat_cent -glon_cent -v
```

Para el comando navigate existen diversas opciones que deberán estudiarse del documento navigation.doc.ascii. En este ejemplo el archivo de entrada es data01.cal y los de salida son data01.calx.y, donde “y” corresponde al canal de AVHRR. Así las imágenes resultantes serán data01.calx.4 y data01.calx.2 que corresponden a las imágenes navegadas para el canal 4 y 2 del AVHRR respectivamente. Los canales deseados se especifican después del “-c”, nótese que para temperatura superficial y para utilizar el MCC se trabaja con el canal 4.

El -B implica que las imágenes de salida tendrán 2 bytes por píxel. Esta opción debe usarse siempre pues así lo requiere el formato de calibración de CCAR (programas calibcomp y rawcall) para poder representar correctamente los números en la información de la imagen.

La opción -l44 implica que se interpolará cada 4 píxeles en el sentido horizontal (primer 4) y cada 4 píxeles en el sentido vertical (segundo 4). El

método permite hasta una interpolación de cada 8 píxeles en lo horizontal y vertical sin perder mucho en la precisión. El objetivo de la interpolación es ahorrar tiempo de cómputo.

Las opciones `-l1024` y `-m1024` especifican el tamaño vertical y horizontal respectivamente en píxeles. Al iniciar el programa el tamaño por default es de 512 x 512 píxeles. Esta opción junto con el rango `-` que determina número de grados (`grad`) en la horizontal y vertical de la imagen`-`, determina la resolución de la imagen. El rango se especifica en el comando bajo la opción `-r` y se utiliza como `-rgrad` donde `grad` es el numero de grados que abarca la región.

Como ejemplo: una imagen de 1024 x 1024 con `-r10` tendrá una resolución de ~1.1 Km. Esto se calcula: $\text{grad}(\# \text{Km.} \times \text{grado}) / \# \text{píxeles}$, o sea $\sim 10 \times 110 / 1024 \approx 1.1 \text{ Km./píxel}$. La máxima resolución para el sensor AVHRR es 1.1 Km./píxel. También se puede obtener esta resolución con la opción `-r5` en imágenes de 512 x 512 píxeles.

Las opciones `-tlat_cent` `-glon_cent` son la latitud y longitud centrales respectivamente. Al usar esta opción la imagen abarca una región de 5° de longitud por 5° de latitud centrados en el punto especificado por (`lat_cent`, `lon_cent`). Las longitudes Oeste se escriben con números negativos, por ejemplo para el Golfo de Tehuantepec se puede usar `-t14 -g-95`. Para elegir el punto (`lon_cent`, `lat_cent`) puede ser de utilidad navegar inicialmente la imagen con el comando:

```
navigate -idata01.cal -fdata01.calx -c24 -B -l44 -l1024 -m1024 -r10 -v -x
```

Donde -x centra la imagen de manera automática en el punto medio de cada imagen. Esta opción cancela las opciones -r

Al elegir (lon_cent,lat_cent), es necesario considerar que la región debe abarcar una porción de tierra, con la cual se pueden corregir los errores de actitud del satélite de manera automatizada (para mas información sobre esto y sobre la posibilidad de calibrar imágenes sin porción terrestre ver Emery *et al.*2003). Un mínimo de 10% de la imagen debe ser tierra. Por ultimo -v corre el programa en un modo "verbose" mostrando en la Terminal información sobre el desarrollo de la navegación.

e) linuxhighres data01.calx.4

Este ultimo comando del proceso de navegación crea un mapa de la región especificada en el inciso anterior. Este mapa se puede sobreponer a la imagen utilizando el interfaz gráfico idlsho. En este ejemplo se utilizo la imagen navegada del canal 4 para hacer el mapa.

Nota: Al abrir una imagen en el idlsho es necesario especificar los parámetros de la imagen que se esta abriendo (Set Default Image Paramtrs). Si la imagen es canal 2 entonces min=0 y max=1000, estos valores corresponden al albedo multiplicado por 10, la escala va de cero a 100%. Si la imagen es canal 4

(temperatura a partir de brillo infrarrojo) entonces $\text{min}=2500$ y $\text{max}=3200$. Esta temperatura equivale a grados Kelvin multiplicados por 10. Un píxel con valor de 2955 tiene una temperatura de 295.5 °K.

En Xsize y Ysize se deben poner el número de píxeles horizontales y verticales de la imagen, lo cual depende de la resolución con la cual se navegó la imagen. Cuando se especifican las opciones “-l1024 -m1024” en el comando navigate, la imagen tiene Xsize=Ysize=1024. Si no se especifican entonces default es 512x512.

A.4 Creación de una imagen base.

Para la creación de una imagen base es necesario comenzar por escoger una imagen con la mínima cobertura de nubes posible sobre la porción de tierra. Esta imagen también debe cumplir otros requisitos, como también se mencionó en el inciso **A.2.1** Ver la publicación de Emery *et al.* (2003) para profundizar más en este tema.

Algunas imágenes no requieren de corrección de actitud. Si la línea de costa de la imagen coincide bien con la línea de costa del mapa como en la figura 17, entonces no será necesario corregir por la actitud del satélite.

En caso de que una imagen requiera de corrección de actitud, es posible automatizar la corrección si se cuenta con una imagen base apropiada. Para la creación de la imagen base es necesario conseguir una imagen que no requiera

corrección de actitud o en su defecto, -y si cumple todos lo demás requisitos (ver Selección de imágenes apropiadas bajo el inciso **A.2.1**) corregir la actitud de manera manual. La corrección manual esta descrita a continuación.

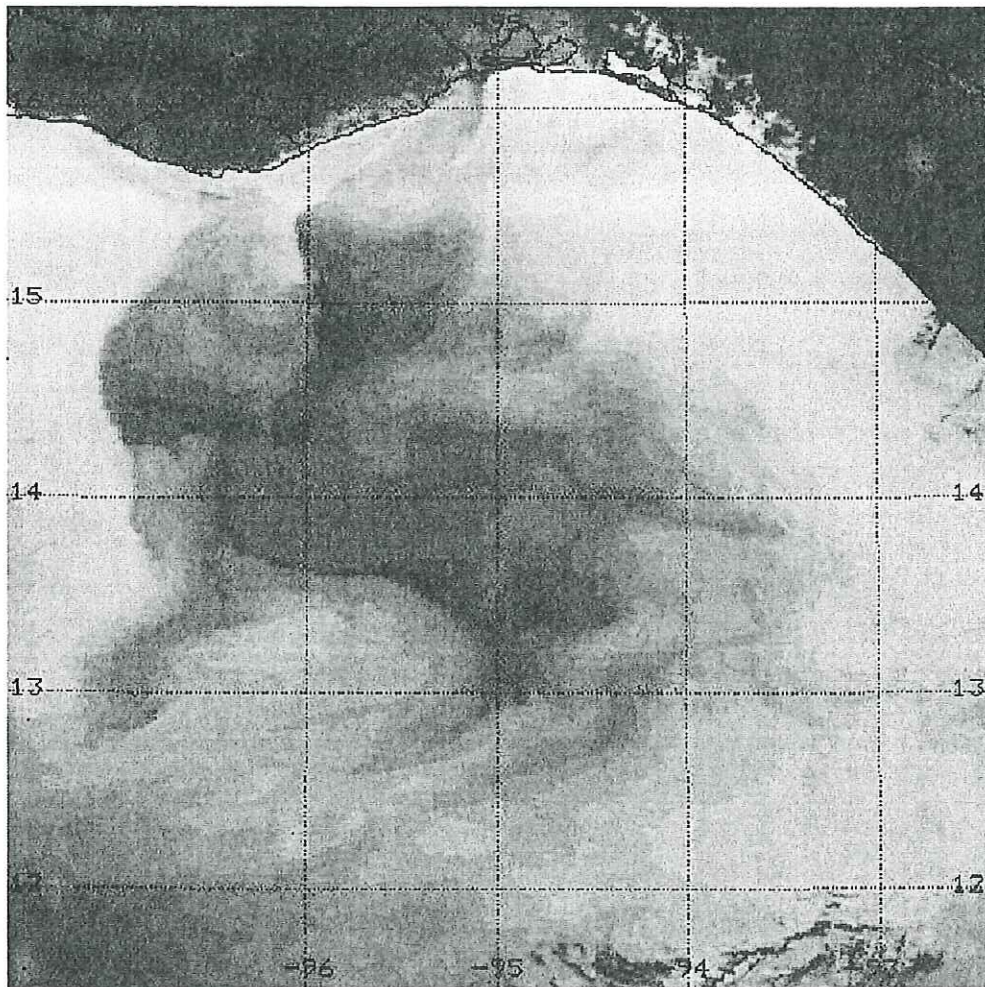


Figura 17. Una imagen del Golfo de Tehuantepec geroreferenciada dentro del nivel de precisión requerido sin la necesidad de haber corregido por actitud de satélite. Esta imagen puede ser utilizada como imagen base.

1. Abrir la imagen elegida para ser una imagen base en el interfaz grafico idlsho (File, Get image) y sobreponer su mapa que fue creado con linuxhighres (File, Get map. Véase la Nota del inciso A.2.e para abrir las imágenes en idlsho). Se deben escoger dos puntos de referencia, donde sea claro el desfazamiento entre imagen y mapa, por el momento, una precisión de un grado es suficiente. Generalmente se utiliza la línea de costa, lagos o islas para encontrar los desfazamientos. Anotar la latitud y longitud de los dos puntos obteniendo lat1, lon1 y lat2, lon2.

2. Con las coordenadas de estos dos puntos se crean un par de imágenes de 512 x 512 píxeles con los comandos:

a) `navigate -idataxx.cal -fregion1 -c4 -B -tlat1 -glon1`

b) `navigate -idataxx.cal -fregion2 -c4 -B -tlat2 -glon2`

Con estos comandos se crean dos imágenes: region1.4 y region2.4.

Por ejemplo, en la elaboración de la imagen base nocturna de este trabajo, se utilizo el comando:

`navigate -idata08.cal -fregionnoche1 -c4 -B -t16.1792 -g-94.197`

`navigate -idata08.cal -fregionnoche2 -c4 -B -t15.7119 -g-96.849`

3. La creación de mapas para estas imágenes se logra con los comandos:

a) linuxhighres region1.4

b) linuxhighres region2.4

Los mapas son necesarios para la comparación entre la imagen y su mapa, y de ahí, observar la calidad de la georeferenciación.

4. Corrección manual de los errores de actitud.

Abrir la imagen region1.4 en idlsho y sobreponer el maparegion1.map. Es necesario encontrar un rasgo desalineado, el cual se encuentra generalmente en dentaduras en la línea de costa o contornos de lagos e islas. Se registra la latitud y longitud de un píxel característico en el rasgo encontrado dentro la imagen, y así mismo se registra la latitud y longitud del píxel correspondiente en el rasgo en el mapa. Para ello se da clic al un píxel de interés con el cursor y el interfaz grafico idlsho despliega los valores de latitud (Lat) y longitud (Lon).

A las coordenadas del píxel seleccionado en la imagen region1.4 se le llama latim1 y lonim1. A las coordenadas del píxel en el mapa region1.map se les llama latmap1 y lonmap1. Se hace lo mismo para la imagen region2.4 con region2.map obteniendo latim2, lonim2, latmap2 y lonmap2.

Copiar el archivo attitude.data de la carpeta \$NAV/testnav al directorio NAV_LAB por ejemplo:

```
cp /dir_preferido/NAV/testnav/attitude.data .
```

No se olvide el punto al final del comando.

5. Encontrar el tiempo del primer escaneo de la imagen utilizando el comando:

```
a) head -3 region1.4
```

El tiempo esta en la tercer línea al lado de "taos" en el formato: 'taosaa/mm/dd hh:mm:ss'. El año son los dos dígitos aa, mm es el mes, y dd el dia. La hora es hh, minutos mm y por ultimo los segundos son ss. Todos son dos dígitos. A un lado de taos se puede observar el satélite que tomo la imagen.

6. Editar el archivo attitude.data cambiando en la primera línea el número de satélite por el adecuado. En la segunda línea se cambia el tiempo al formato aammddhhmmss.0. Por ejemplo taos05/02/13 04:09:37 debe cambiarse por 050213040937.0

No debe haber punto a la derecha del cero. La sexta y séptima líneas deben decir las latitudes y longitudes obtenidas en el paso 3 de la forma:

```
latim1,lonim1,latmap1,lonmap1
```

```
latim2,lonim2,latmap2,lonmap2
```

Salvar el archivo attitude.data. Es necesario que después de la última línea se deje una línea extra vacía dándole Enter para que corra el siguiente comando.

Un ejemplo del archivo attitude.data es:

```
16          /* satid */
050213205508.0 /* yymmddhhmmss */
G          /* Satellite (S) or Geographic (G) */
1          /* osculating switch */
2          /* Number of landmarks */
16.159915,-95.120980,16.169741,-95.100656
15.965895,-93.933465,15.995358,-93.943623
```

7. Correr desde una Terminal el comando:

a) attitude attitude.data

La última línea en la Terminal después de correr este comando esta compuesta por tres números (*i.e.* -0.000188 -0.006083 -0.005197) que corresponden a los valores de cabeceo, bamboleo y escoramiento. Es necesario crear un archivo ASCII llamado attitude.results que contenga en una sola línea estos tres valores obtenidos con sólo espacios entre ellos.

Un ejemplo de este archivo es:

0.000873 0.009026 -0.024803

8. Correr los comandos:

a) `navigate dataxx.cal -fregion1_att -c4 -B -tlat1 -glon1 -v -l44 -Aattitude.results`

b) `navigate dataxx.cal -fregion2_att -c4 -B -tlat2 -glon2 -v -l44 -Aattitude.results`

Estos dos comandos crean imágenes de 512x512 píxeles, que deben coincidir bien (\pm un píxel) con los mapas `region1.map` y `region2.map`. Nótese que la opción `-Aattitude.results` al final del comando aplica correcciones de actitud del satélite según los valores en `attitude.results`.

9. Ahora se puede crear una imagen base:

a) `navigate -idataxx.cal -fbaseimage -c4 -B -v -l44 -t14 -g-95 -Aattitde.results`

Y su respectivo mapa con:

b) `linuxhighres baseimage.4`

Asegúrese que el mapa y la imagen coincidan bien. Como ejemplo, la imagen base diurna de este trabajo se creo con el comando:

```
navigate -idata09.cal -fbaseimagedia -c4 -B -v -l44 -t14 -g-95 -Aattitde.results
```

Y para la nocturna:

```
navigate -idata08.cal -fbaseimagenoche -c4 -B -v -l44 -t14 -g-95 -Aattitde.results
```

10. Es necesario crear una máscara que identifique los píxeles de la región terrestre como diferentes de los de la porción de mar o grandes lagos. El objetivo es que no se hagan cálculos sobre rasgos cambiantes como mar ó lagos al aplicar el algoritmo de MCC sobre la porción terrestre. Este algoritmo sobre la porción terrestre permite calcular los errores de georeferenciación ocasionados por la actitud del satélite.

Para crear la máscara abrir la imagen base en idlsho. Quizás le sea más conveniente al lector hacer un poco de Zoom In antes de seguir los pasos siguientes. Bajo el menú de Tools escoger Drawing Tools y escoger Pencil. Dibujar una línea alrededor de la masa terrestre rodeándola completamente. No es necesario que sea muy precisa pero si es requerido que no haya interrupciones en la línea hasta cerrarse. Escoger Fill Tool y rellenar la tierra, si la línea dibujada está bien cerrada sólo se rellenará la tierra de color negro. En el menú de File escoger Save Overlay y guardar. La máscara utilizada para este trabajo es llamado landmask. Se ha creado la máscara con valores de 1 para

tierra y 0 para todo lo demás. Una máscara correcta medirá 512x512x1 bytes para imágenes de 512x512 píxeles y 1024x1024x1 bytes para imágenes de 1024x1024 píxeles.

A.5 Corrección de actitud automatizada.

El proceso de corrección automatizada para las imágenes que así lo requieran se logra siguiendo estos pasos:

1. Es necesario navegar la información calibrada (archivos dataxx.cal) usando el siguiente comando:

```
a) navigate -idataxx.cal -froixx -c4 -B -v -l44 -tlat_cent -glon_cent -Y
```

Se obtiene la imagen roixx.4. La opción "-Y" al final del comando crea los archivos roixx.AZIM y roixx.ELEV, que corresponden al azimut y a la elevación del satélite.

2. A continuación se aplica el algoritmo MCC a las imágenes roixx.4 y baseimage.4. A partir de los desplazamientos encontrados se calcula el

cabeceo, bamboleo y escoramiento y se navega de nuevo la imagen con las correcciones apropiadas. El comando para ello es:

```
a) run_auto_yaw roixx.4 dataxx.cal baseimage.4 roixx.vecs roixx.ELEV  
landmask
```

Así se crean los archivos roixx.4_att.4, roixx.4_att.5, roixx.4_att.2, roixx.4_att.AZIM y roixx.4_att.ELEV. Estos archivos corresponden a las imágenes con corrección de actitud para los canales 4, 5 y 2, así como los correspondientes archivos de azimuth y elevación. Si se encima el mapa baseimage.map o el mapa de la imagen roixx.4 la georeferenciación debe ser de ± 1 píxel en la gran mayoría de la línea de costa y rasgos del mapa. Estos pasos deben seguirse para cada imagen que requiera de corrección de actitud.

A.6 Obtención de velocidades y filtrado de vectores erróneos.

Una vez que se cuentan con imágenes georeferenciadas a ± 1 píxel de precisión se puede utilizar el algoritmo MCC para encontrar desplazamientos de masas de agua caracterizadas por sus temperaturas. Para conocer mas de la metodología se sugiere leer la publicación de Emery *et al.* (1986).

La paquetería comprendida en motion.tar es la siguiente:

motion.c es el programa que lee las dos imágenes así como los parámetros que el usuario debe especificar, y regresa un archivo ASCII con los vectores de velocidades superficiales.

mp es el archivo de parámetros donde el usuario especifica diversas variables (ver punto 4).

filt.cxx es un programa que lee un archivo de parámetros llamado filt.in y elimina vectores erróneos según los parámetros de filt.in

filt.in contiene los parámetros utilizados por filt.cxx

vectormapper.pro es una rutina de IDL que crea una imagen de los vectores que puede sobreponerse a la imagen de nuestra elección con el interfaz gráfico idlsho.

1. Descomprimir motion.tar

2. Compilar los programas motion.c y filt.cxx:

- a) motion.c : se compila escribiendo en una Terminal:

```
cc motion.c -o motion -lm
```

- b) filt.cxx : en una Terminal hacer:

```
g++ filt.cxx -o filt
```

3. Dentro de la carpeta MOTION salvar un par de imágenes georeferenciadas a una precisión ± 1 píxel y que tengan una diferencia de tiempo entre 3 y 12 horas entre si. Las llamaremos data01.4 y data02.4 por simplicidad.

4. Es necesario editar un archivo llamado mp. Las líneas que deben verificarse, y en su caso modificarse son:

a) La primera línea incluye el tamaño de las imágenes con las cuales se trabaja (512,512 ó 1024,1024).

b) La segunda línea es el tamaño de la región de búsqueda. En la publicación de Emery *et al.* (1991) hay una explicación del método, donde se define la región de búsqueda (template window) y las circunstancias por las cuales se desearía cambiar los valores en mp de 22, 22 a 30,30.

c) En la línea 8 (<time difference>) debe ponerse la diferencia en tiempo en horas entre las 2 imágenes utilizadas (usando el sistema decimal).

d) En la penúltima línea debe estar el nombre de la máscara de tierra para excluir esa región. Además el archivo de la máscara debe ponerse en el directorio MOTION.

A continuación un ejemplo de cómo debe verse el archivo mp (en este caso el nombre de la máscara es landmask):

512,512	<xsize>, <ysize>
30,30	<box width>, <box height>
30	<range>
0, 0	<skip value>, <post skip range>
0, 0	<sub value>, <sub range>
11	<overlap>
2400, 3200	<Min>, <max>
7.36666	<time difference>
1.1	<resolution>
2h	<image type>
y	<buffer option>
landmask	<Land mask >
none	<points file>

5. La obtención de velocidades a partir de dos imágenes se obtiene corriendo el comando:

```
motion mp data01.4 data02.4 nombre_vectores
```

Nota: Es necesario cambiar al menos la línea 8 del archivo mp cada vez que se utilicen imágenes diferentes, pues la diferencia de tiempo será diferente.

Con este comando "motion mp data01.4 data02.4 nombre_vectores" se crea el archivo nombre_vectores con todos las velocidades encontrados por el método MCC.

6. A continuación se puede utilizar el filtrado para eliminar vectores incoherentes. Para ello es necesario editar el archivo filt.in para que contenga el nombre del archivo de vectores resultantes en la primer línea. El nombre del archivo que contendrá los vectores filtrados va en la segunda línea. La mínima correlación aceptable en la tercer línea (velocidades con correlación menor que

este valor serán descartados). La máxima diferencia de velocidad aceptable para el momento de comparar con un cierto número de velocidades circundantes en la cuarta línea. El mínimo número de vectores circundantes que deben estar dentro de esta diferencia máxima va en la quinta línea. Por último en la sexta línea debe ir la máxima magnitud aceptable en cms^{-1} . Vectores con magnitudes mayores serán descartados (ver **Filtrado de resultados** en la introducción).

Un ejemplo de este archivo es:

```
nombre-vectores  
nombre-vectores.fil  
0.6  
2  
3.0  
100
```

7. El filtrado se lleva acabo con el comando:

```
filt < filt.in
```

El resultado de correr este programa es un nuevo archivo llamado nombre-vectores.fil dentro del directorio MOTION. Nótese que en la línea 2 del archivo filt.in se especifica el nombre de este archivo, por lo que es necesario cambiar al menos esta línea en el archivo filt.in, cada vez que se filtre un archivo de vectores nuevos. El archivo ASCII resultante de este último paso contiene las velocidades filtradas según los parámetros de filtrado especificados

en filt.in. Con este archivo se puede crear un mapa para sobreponer a la imagen satelital con los vectores resultantes. Para crear este mapa seguir el paso 8.

8. Abrir IDL y desde una línea de comando de IDL escribir:

```
vectormapper,' nombre-vectores.fil'
```

Esto creará un mapa para sobreponer a la imagen satelital de nuestra preferencia de nombre vector.map. Úsese el interfaz gráfico idlsho para ello. Primero se abre la imagen de satélite que se desea utilizar (File, Get image) y después se sobrepone los vectores (File, Get map eligiendo vector.map que esta en el directorio MOTION).

Si se quiere graficar los vectores resultantes con otra paquetería sólo es necesario cargar en la paquetería de nuestra elección el archivo ASCII llamado nombre-vectores ó nombre-vectores.fil dependiendo de los datos con los que se desee trabajar. Este archivo esta compuesto por el nombre de las imágenes utilizadas para obtener los vectores en su primera línea. En la segunda línea se lista el número de componentes que se obtuvieron en la dirección x (columnas), el número componentes en la dirección y (renglones), el tamaño de la imagen en columnas, el tamaño de la imagen en renglones y por último el factor de escala. A continuación cada línea que sigue tiene primero a la posición del

vector (componente en columnas), la posición del vector en renglones, componente u de la velocidad, componente v de la velocidad y por último, el coeficiente de correlación para ese vector.

A.7 Obtención de velocidades ejemplificado.

Se sigue paso a paso la obtención de velocidades advectivas superficiales partiendo desde la búsqueda de las imágenes de AVHRR en los archivos de la NOAA hasta llegar a un campo de velocidades para el Golfo de Tehuantepec.

En las figuras 18, 19 y 20 se pueden ver las características de la búsqueda necesarias para obtener las imágenes utilizadas.

Datatype

- Global Area Coverage (GAC) 4KM Level 1B
- High Resolution Picture Transmission (HRPT) 1KM Level 1B
- Local Area Coverage (LAC) 1KM Level 1B

Node

- Ascending
- Descending
- Either

Receiving Station

- Cape Ferguson Australia
- Dundee Scotland UK
- Ewa Beach Hawaii
- Gilmore Creek AK
- Honolulu Hawaii
- Miami Florida
- Monterey CA
- Sioux Falls SD
- SOCC
- Western Europe
- Wallops Island VA

Satellite

- NOAA-18
- NOAA-17
- NOAA-16
- NOAA-15

Temporal

Start Date (format: YYYY-MM-DD)

End Date (format: YYYY-MM-DD)

Start Time (format: HH:MM:SS)

End Time (format: HH:MM:SS)

Specify the range of the times for: Each Day Or The Entire Range Of Days

Spatial



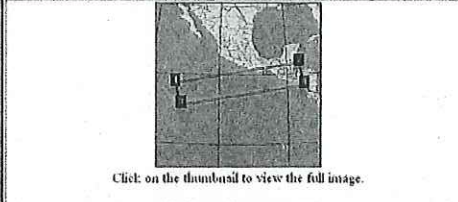
Select Geometry:

Note: XY Plane searches are resized to enforce a minimum lat/lon difference of 0.1 degrees.

-
-
-
-
-

Figura 18. Criterios de búsqueda utilizados en la página <http://www.class.noaa.gov/> con los cuales se encontraron las imágenes de este ejemplo.

Data Set Detailed Display:	
Inventory ID	4028741
Datatype	Local Area Coverage (LAC) 1KM Level 1B
Orbit	22652
Start Time	2005-02-12 21:06:28.874
End Time	2005-02-12 21:13:13.041
Quality	NNX
Node	Ascending
Satellite	N16
Dataset Name	NSS.LHRR.NL.D05043.S2106.E2113.B2265252.GC
Receiving Station	Ohmore Creek, AK
Size	37619

Overlapped Region of Geographic Search:											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Temporal (Geographic Overlap):</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start Date:</td> <td>End Date:</td> </tr> <tr> <td>2005-02-12 21:07:39.344</td> <td>2005-02-12 21:09:02.319</td> </tr> <tr> <td>Seconds:</td> <td>Direction:</td> </tr> <tr> <td>83</td> <td>Ascending</td> </tr> </tbody> </table>	Temporal (Geographic Overlap):		Start Date:	End Date:	2005-02-12 21:07:39.344	2005-02-12 21:09:02.319	Seconds:	Direction:	83	Ascending
	Temporal (Geographic Overlap):										
Start Date:	End Date:										
2005-02-12 21:07:39.344	2005-02-12 21:09:02.319										
Seconds:	Direction:										
83	Ascending										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Spatial (Geographic Overlap):</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NW Lat,Long:</td> <td>NE Lat,Long:</td> </tr> <tr> <td>13.04 , -114.65</td> <td>17.31 , -87.21</td> </tr> <tr> <td>SW Lat,Long:</td> <td>SE Lat,Long:</td> </tr> <tr> <td>8.38 , -113.29</td> <td>12.57 , -96.36</td> </tr> </tbody> </table>	Spatial (Geographic Overlap):		NW Lat,Long:	NE Lat,Long:	13.04 , -114.65	17.31 , -87.21	SW Lat,Long:	SE Lat,Long:	8.38 , -113.29	12.57 , -96.36
Spatial (Geographic Overlap):											
NW Lat,Long:	NE Lat,Long:										
13.04 , -114.65	17.31 , -87.21										
SW Lat,Long:	SE Lat,Long:										
8.38 , -113.29	12.57 , -96.36										




Data Set Browse Imagery:	
 Channel 2:	 Channel 4:
<input type="button" value="Histogram Equalize"/> <input type="button" value="Brightness +"/> <input type="button" value="Brightness -"/> <input type="button" value="Contrast +"/> <input type="button" value="Contrast -"/> <input type="button" value="Restore Original Browse"/>	
Click on a thumbnail to the left to open a window with a full sized browse image. You may then use the controls above to manipulate the full sized browse image.	

Figura 19. Datos de la primera imagen seleccionada. Nótese en la porción inferior izquierda de esta imagen que en el canal 2 del AVHRR se puede ver la imagen satelital (con la perspectiva del satélite) lo cual indica que es una imagen diurna. Cuando la imagen es nocturna la imagen del canal 2 se ve blanco como es el caso en la figura 20.

Data Set Detailed Display:	
Inventory ID	4630061
Datatype	Local Area Coverage (LAC) HRM Level 1B
Orbit	13720
Start Time	2005-02-13 04:02:14.101
End Time	2005-02-13 04:14:09.271
Quality	GNX
Node	Ascending
Satellite	N17
Dataset Name	NSS.LHRR.NM.D05014.S0402.E0414.B1371920.GC
Receiving Station	Chimere Creek, AK
Size	63209

Overlapped Region of Geographic Search:											
 <p>Click on the thumbnail to view the full image.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Temporal (Geographic Overlap):</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start Date:</td> <td>End Date:</td> </tr> <tr> <td>2005-02-13 04:10:56.908</td> <td>2005-02-13 04:11:56.965</td> </tr> <tr> <td>Seconds:</td> <td>Direction:</td> </tr> <tr> <td>81</td> <td>Ascending</td> </tr> </tbody> </table>	Temporal (Geographic Overlap):		Start Date:	End Date:	2005-02-13 04:10:56.908	2005-02-13 04:11:56.965	Seconds:	Direction:	81	Ascending
	Temporal (Geographic Overlap):										
Start Date:	End Date:										
2005-02-13 04:10:56.908	2005-02-13 04:11:56.965										
Seconds:	Direction:										
81	Ascending										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Spatial (Geographic Overlap):</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NW Lat.Long:</td> <td>NE Lat.Long:</td> </tr> <tr> <td>14.75 , -103.28</td> <td>19.05 , -75.6</td> </tr> <tr> <td>SW Lat.Long:</td> <td>SE Lat.Long:</td> </tr> <tr> <td>10.19 , -101.91</td> <td>14.1 , -74.8</td> </tr> </tbody> </table>	Spatial (Geographic Overlap):		NW Lat.Long:	NE Lat.Long:	14.75 , -103.28	19.05 , -75.6	SW Lat.Long:	SE Lat.Long:	10.19 , -101.91	14.1 , -74.8
Spatial (Geographic Overlap):											
NW Lat.Long:	NE Lat.Long:										
14.75 , -103.28	19.05 , -75.6										
SW Lat.Long:	SE Lat.Long:										
10.19 , -101.91	14.1 , -74.8										



Data Set Browse Imagery:									
Channel 2:	Channel 4:								
									
<p>Click on a thumbnail to the left to open a window with a full sized browse image. You may then use the controls above to manipulate the full sized browse image.</p>									
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Histogram Equalize</td> </tr> <tr> <td>Brightness +</td> <td>Brightness -</td> </tr> <tr> <td>Contrast +</td> <td>Contrast -</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Restore Original Browse</td> </tr> </table>		Histogram Equalize		Brightness +	Brightness -	Contrast +	Contrast -	Restore Original Browse	
Histogram Equalize									
Brightness +	Brightness -								
Contrast +	Contrast -								
Restore Original Browse									

Figura 20. Datos de la segunda imagen seleccionada. Nótese que el canal 2 del AVHRR aparece en blanco lo cual indica que es una imagen nocturna.

Una vez obtenidas, se les han cambiado los nombres a las imágenes de la siguiente manera:

NSS.LHRR.NL.D05043.S2106.E2113.B2265252.GC.L9425141 = data01.11b, que corresponde a la imagen tomada por el satélite NOAA 16 a las 15:07 horas uso horario del Golfo de Tehuantepec (GMT -6), en la figura 18 se puede ver que la hora del comienzo de la adquisición es 21:10 horas pues esta se reporta según el uso horario del meridiano de Greenwich.

NSS.LHRR.NM.D05044.S0402.E0414.B1371920.GC.L9425151 = data02.11b, que corresponde a la imagen tomada por el satélite NOAA 17 a las 22:02 horas (GMT -6).

Las imágenes se procesan con los comandos enunciados a continuación:

Imagen 1:

1. `sdsfil15 -fdata01.fil -H < data01.l1b`
2. `calibcomp 1 L data01.fil /home/yael/CCARsoft/NAV/cal`
3. `rawcal15_new COEFFS.16 1 1 L /home/yael/CCARsoft/NAV/cal <data01.fil>`
`data01.cal`
4. `navigate -idata01.cal -fdata01.calx -c4 -B -l44 -t14 -g-95 -v`
5. `linuxhighres data01.calx.4`

Imagen 2:

1. `sdsfil15 -fdata02.fil -H < data02.l1b`
2. `calibcomp 1 L data02.fil /home/yael/CCARsoft/NAV/cal`
3. `rawcal15_new COEFFS.17 1 1 L /home/yael/CCARsoft/NAV/cal <data02.fil>`
`data02.cal`
4. `navigate -idata02.cal -fdata02.calx -c4 -B -l44 -t14 -g-95 -v`
5. `linuxhighres data02.calx.4`

Con esto se obtienen dos imágenes navegadas y como se puede ver en las figuras 21 (imagen de las 15 hrs GMT -6) y 22 (imagen de las 22 hrs GMT -6) la imagen satelital y el mapa sobrepuesto están dentro de la precisión de navegación requerida (± 1 píxel de diferencia).

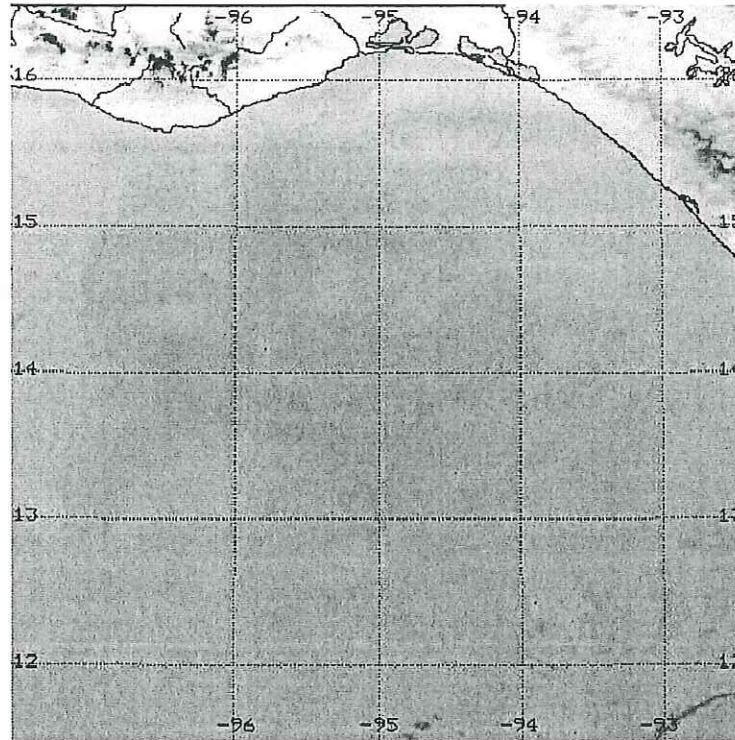


Figura 21. Imagen de las 15 hrs GMT -6, nótese como la porción terrestre tiene mayor brillo que el resto de la imagen, esto es indicativo de la irradiancia terrestre diurna.

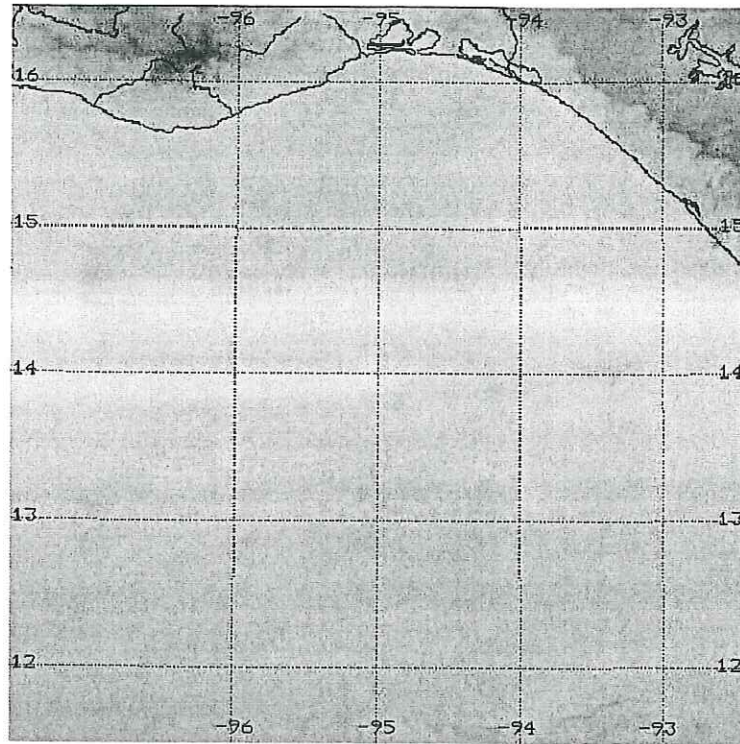


Figura 22. Imagen de las 22 hrs GMT -6, nótese como la porción terrestre tiene aproximadamente el mismo brillo que el resto de la imagen, esto es indicativo de la irradiancia terrestre nocturna.

Con esto se puede ya buscar desplazamientos en la porción de océano utilizando el programa motion. Este programa utiliza parámetros encontrados en el archivo mp. Para este caso se han utilizado los siguientes parámetros en el archivo mp:

```

512,512      <xsize>, <ysize>
30,30       <box width>, <box height>
30          <range>
0, 0       <skip value>, <post skip range>
0, 0       <sub value>, <sub range>
11         <overlap>
2400, 3200 <Min>, <max>

```

7.05	<time difference>
1.1	<resolution>
2h	<image type>
y	<buffer option>
landmask	<Land mask >
none	<points file>

El comando para buscar los desplazamientos es:

```
motion mp data01.calx.4 data02.calx.4 vec12Feb05
```

Con lo cual se obtiene el archivo de vectores vec12Feb05. A continuación se filtran los resultados usando el programa filt que a su vez utiliza los parámetros especificados en filt.in como se especifica a continuación:

```
vec12Feb05  
vec12Feb05.fil  
0.6  
3  
5  
70
```

El comando para el filtrado es:

```
filt < filt.in
```

Por último se crea un mapa dentro de IDL con los vectores el cual se puede sobreponer sobre la imagen de satélite. En una línea de comando de IDL se hace:

```
calimapper,'vec12Feb05.fil'
```

Con lo cual se obtiene la figura 23:

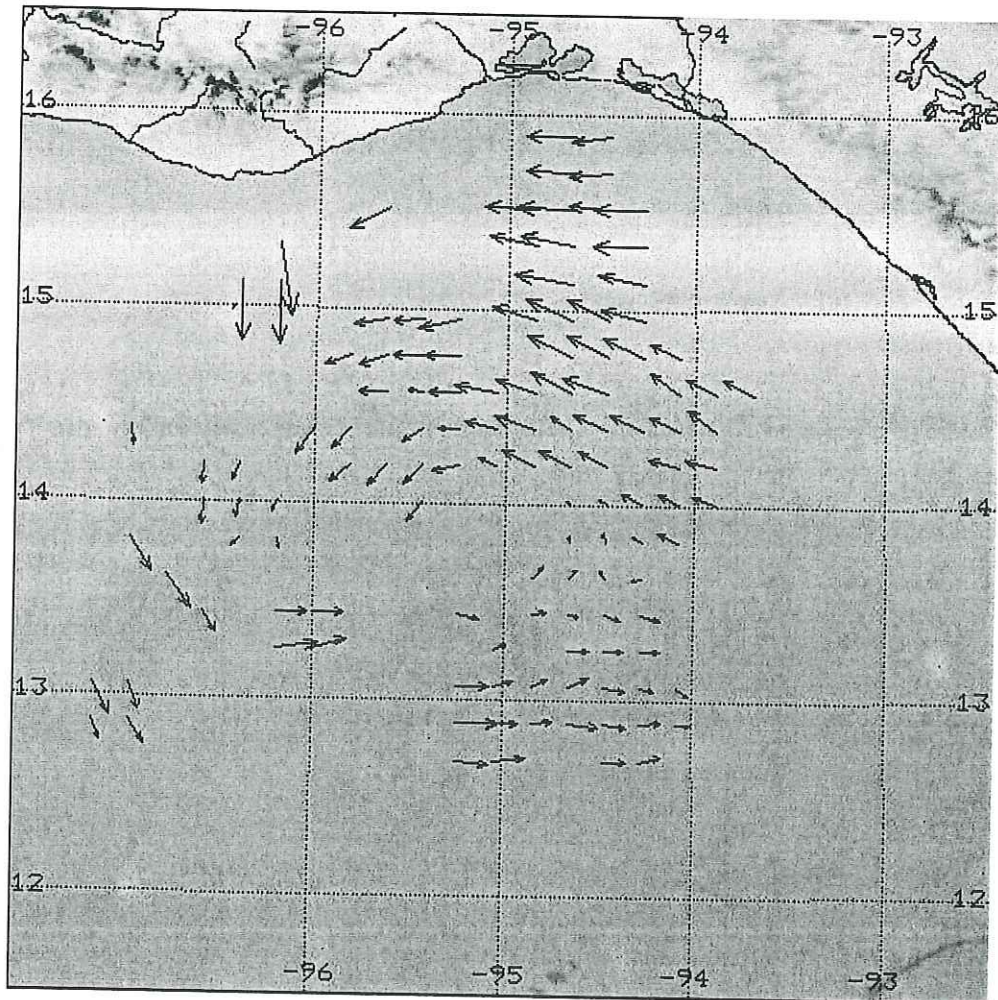


Figura 23. Imagen de las 15 hrs GMT -6, con los vectores filtrados sobrepuestos. Nótese la presencia de un giro ciclónico que afecto la decisión de utilizar una matriz de búsqueda de 30 x 30 píxeles en el renglón 2 del archivo mp ver publicación de Emery *et al.* (1991). Este imagen es el producto del interfaz gráfico idlsho.

