

METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE ASENTAMIENTOS EN DIQUES USANDO LA TECNOLOGÍA INSAR

MSc. Ing. Manuel Pedroso Martínez¹, Ing. Ernesto Romero Carmenate²

1. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. manuel.pedroso@umcc.cu

2. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. ernesto.romero@umcc.cu

Resumen

Los diques son estructuras construidas por el ser humano, típicamente muros de contención, se proyectan y ejecutan según las prácticas de ingeniería de sonido para controlar o reencausar el flujo de agua y proporcionar un nivel de resguardo contra una inundación temporaria. Una patología que los azotan frecuentemente son los asentamientos y ocasionan fallas que pueden variar su visibilidad, magnitud y consecuencias en dependencia de la forma de evolución. En el sector de la construcción de hoy existen diversos métodos para cuantificar el valor de estos movimientos de tierra, siendo los más empleados los Niveles Ópticos, pero aparejado al desarrollo de la ciencia y la tecnología se han ido incorporando métodos nuevos e iguales de eficientes. Destaca por las prestaciones que posee la tecnología InSAR. En la presente investigación los autores proponen una metodología sencilla para utilizarla en la medición de asentamientos.

Palabras claves: Diques; Asentamientos; Movimientos de tierra; InSAR; Metodología.

Introducción:

Los suelos son el más antiguo de los materiales de construcción y el más complejo de cuantos se conocen. Su variedad es enorme y sus propiedades, variables en el tiempo y el espacio, son difíciles de entender y medir. El siglo XX constituyó el de mayor esfuerzo de los científicos para resolver los problemas que enfrentaba la Mecánica de Suelos y con ello el diseño y construcción de presas de tierra. (Novoa, 2002)

El hombre desde que se estableció a márgenes de ríos o costas lidió con sus desbordamientos o penetraciones al subir el agua por encima del nivel del terreno, necesitó encausar las aguas para su uso o proteger de la fuerza destructora de las olas determinadas estructuras o áreas. Una ingeniosa solución para resolver estos problemas fue establecer muros lo más impermeables posibles, usando las materias primas que tenían a su disposición; madera, piedras y tierra fueron los básicos. En el 2019 continúan en uso los dos últimos antes mencionado y se les suma el hormigón.

En ocasiones suelen ser confundidos los diques con las pequeñas presas de tierra al poseer grandes similitudes en su finalidad y funcionamiento estructural. El principal elemento distintivo de cada obra es el período en que se hallan expuestos a la acción del agua. Las presas se usan para acumular agua, de ahí que estén expuestas en todo momento y los diques al diseñarse para evitar las penetraciones de agua solo intervienen durante las inundaciones.

Desarrollo:

La selección del tipo de dique dependerá exclusivamente de la función que va a desempeñar, la importancia del diseño y el espacio en donde se va a construir ya sea río, mar o lago. De acuerdo a los materiales utilizados, los diques se catalogan como: diques de tierra, dique de roca-tierra y diques enrocados. Los diques de tierra son aquellos donde su volumen principal está compuesto por suelos arcillosos, arenosos o de grano fino, mientras que los diques de roca-tierra se componen de suelo de agregados gruesos y finos, finalmente los diques enrocados están constituidos por material de agregado grueso (TAW, 1998).

A partir de la revisión bibliográfica, ante la similitud en la definición de dique brindada por múltiples investigadores y conocedores de la temática, los autores los define como: terraplenes artificiales que se construyen para permitir la contención de las aguas, su almacenamiento o su regulación.

Uno de los causantes básicos de fallas en diques son los asentamientos. Esta acción no es más que la deformación que sucede en el tiempo en el plano vertical y según su sentido puede ser hacia arriba o hacia abajo, de ahí que se defina como un vector con dirección y

sentido, expresado en un valor numérico antecedido por un signo negativo (-) si el asentamiento es hacia abajo o positivo (+) si es hacia arriba (levantamiento).

➤ Criterios sobre la periodicidad de las observaciones de deformaciones

La periodicidad de las observaciones de deformaciones se establece en la mayoría de los casos de forma empírica y tiene que ver mucho en esta decisión el comportamiento de deformaciones de la obra, por lo que los criterios aquí expuestos sólo sirven de pauta.

En la etapa de construcción se deben realizar las observaciones en el momento que la obra alcanza el 25, 50, 75y 100% de su carga y dimensión de proyecto y en la etapa de explotación se valora el tipo de suelo de la base, por ejemplo, si los suelos son cohesivos (arcillas, limo) es necesario observar cada tres o cuatro meses y en los no cohesivos (arena) cada cinco o seis meses. Para suelos con tendencias a asentarse puede disminuirse hasta tres meses.

Si en la deformación de la obra influyen factores externos, tales como: la variación del régimen del nivel de aguas del manto freático, temperatura del suelo de la base, acción de fuerzas dinámicas, es necesario realizar las mediciones geodésicas antes de que comience la acción de los factores anteriormente expuestos, en el período de su acción y al finalizar.

No obstante, se recomienda para la etapa de explotación observar las deformaciones dos y tres veces al año hasta su estabilización, o sea, hasta que la velocidad de los asentamientos sea de uno o dos milímetros al año. Para el caso de obras muy propensas a deformaciones las observaciones continúan en un intervalo de dos a tres años.

El examen de los asientos es una de las acciones más significativas de la ingeniería por el peligro que constituyen en las disímiles estructuras, para su realización se usan diversos métodos.

➤ Métodos para la medición de asentamientos

La aplicación del método para el monitoreo de las deformaciones se fundamenta en el establecimiento, en lugares determinados de la construcción y su entorno, de un conjunto de puntos de control o chequeo de estabilidad. A estos puntos se le miden con elevada precisión los elementos que determinan su posición: coordenadas X, Y, y su altura Z. Todos estos valores están referidos a un sistema inicial de cuyos valores “supuestamente” son invariables. De esta forma se realizan mediciones en diferentes períodos de tiempo, principalmente en función del crecimiento de la carga sobre su base y la velocidad de las deformaciones. La diferencia de coordenadas de un ciclo con respecto al primero, u otro en particular, refleja la magnitud del movimiento ocurrido en ese espacio de tiempo (Milán, Machado y Ruedas, 2018).

Paralelamente, se registran o se miden los valores de los fenómenos o causas que puedan provocar estas deformaciones (características del suelo, magnitud de las cargas, nivel hidrostático, temperatura ambiente del aire, precipitaciones, velocidad y dirección del viento). Además, se dispone de los estudios ingeniero-geológicos del área de emplazamiento y de los materiales constitutivos de la estructura en su conjunto, así como de la tecnología y la fundamentación para el diseño y construcción de la obra (Milán, Machado y Ruedas, 2018).

En el mundo para medir asentamiento en diques se emplean las más altas tecnologías. Aparejado al desarrollo tecnológico ha ido el perfeccionamiento de Estaciones Totales y Niveles de Digitales, siendo los métodos más usados para la medición de asentamientos. Sin embargo, han aparecido en el sector tecnologías alternativas que ganan terreno en el mercado al simplificar las tareas, minimizar tiempos de trabajo y poseer altas precisiones. En la Provincia de Guangxi (China), en Masjed-Soleyman (suroeste de Irán) y en Barcelona se ha usado para computar la deformación en dique o presas de tierra la obtención de datos a partir de la tecnología InSAR; el GPS Diferencial (DGPS) se usó en la presa de tierra La Aceña (España) y las celdas de asiento en los muros de tierra de la Presa Gallito Ciego. En Cuba de manera general el control de asientos en diques se limita en la mayor parte a Niveles, y en extraña ocasión se emplean Estaciones Totales; se desconoce por los autores el uso otros medios para estas mediciones verticales en el área foránea.

De los métodos tradicionales, los autores consideran desfavorable el empleo de Estaciones Totales pues en la nivelación ocurren errores instrumentales por desajuste en el limbo vertical. Además, es difícil establecer una línea de referencia fija, situada fuera de la influencia de los movimientos, a la que puedan referirse todos los puntos controlados pues el área en el cayo es muy limitada y tendría consecuencias desfavorables en la vegetación.

Los Niveles Digitales son fáciles de utilizar, con su empleo se puede señalar gran precisión, automatización en la captura de datos, rapidez, manejo de la información en formatos digitales y la obtención del producto final: el plano topográfico con características impecables impensables en los levantamientos que se realizaban hace 20 años. Pero para su utilización es necesario crear monumentos de referencia Plano-Altimétricos para comenzar las mediciones. Asimismo, es un trabajo que se realiza directamente sobre el terreno y significa un empleo significativo de tiempo realizar las mediciones.

De los métodos de tecnología avanzada para la medición de asentamientos son muy beneficiosas las Celdas de asentamiento, las Sondas Hidrostáticas de Asientos y Sistema de Control de Terraplenes DSM, pero van enterradas y su empleo significaría excavar en los diques si ya están contruidos y un gasto económico alto que no se estimó por los inversionistas. Además realizar todos los trámites de compra e importación podría significar más atrasos en el control de las deformaciones verticales de los diques e influir directamente en el cronograma de la obra.

La tecnología LiDAR ejecuta una investigación masiva de puntos, tributa datos abundantes de todos los objetos existentes en el área donde se emplee. Pero esto puede significar también en un inconveniente al momento de su almacenaje. Claro está que toda esta información deberá ser guardada completamente, sin discriminar nada, pues la cantidad de información que se obtiene constituye una de las ventajas. Por ende, hemos de disponer de una tecnología conforme al volumen de datos, de modo que se requiere de una memoria abundante en nuestro ordenador de trabajo, mucho mayor que en otros métodos.

La falta de información acerca de esta técnica hace que el conocimiento e interés general en ella sea escaso, de manera que los investigadores sean los únicos que trabajen con ella y desarrollen distintos métodos de trabajo. Actualmente se desarrolla bastante, y se obtienen resultados bastante óptimos en el tratamiento de registro.

Si bien ahorra tiempo de trabajo, requiere una gran inversión inicial, capacitar personal y darle mantenimientos costosos.

Para el empleo del DGPS se debe velar que las condiciones meteorológicas sean favorables (que no halla nubes) para no afectar la precisión, y significaría un factor incalculable para programar las mediciones.

Por su parte, la tecnología InSAR es de fácil acceso hoy en día pues las grandes compañías y agencias espaciales como la Agencia Europea Espacial (ESA) están dispuestas a proveer de información en forma abiertamente disponibles y libres de costo para todo tipo de usuarios al igual que el software Sentinel-1 Toolbox (S1TBX) para todo aquél que se interese en manipular imágenes Sentinel-1.

Las imágenes SAR predestinadas a elaborar modelamientos de deformación superficial, tienen una clara superioridad cara a los puntos de examen que se obtiene por estaciones GPS o inclinómetros. Esto se causa especialmente a que las imágenes SAR suministran una cobertura espacial que ni una densa red de sensores in situ podría superar. Sin embargo, por otra parte, se debe considerar que tanto las estaciones GPS como los inclinómetros ostentan una resolución temporal que es imposible para InSAR a causa de que el ciclo orbital que utiliza éste, generalmente toma varios días o semanas. En contextos difíciles, InSAR brinda la ventaja añadida, que reside en prescindir de observadores en terreno, impidiendo no sólo poner en peligro la integridad física de los expertos y los equipos sino también de la flora y fauna del área de estudio que puede provocar la colocación y manejo del instrumental.

➤ InSAR

Los Sensores Remotos encierran un conjunto de técnicas, que elaboradas por los científicos y llevadas a cabo por instrumentos, son utilizadas para la adquisición de datos e informaciones del mundo físico a partir de la detección y medición de señales en forma de radiación, partículas y campos emanados de objetos localizados en el rango de visión de un sensor (Short, 2009).

Los sensores activos son capaces de generar su propia energía irradiándola hacia el exterior, captando y midiendo posteriormente una fracción de esta señal; capacidad que les permite trabajar aun en la oscuridad de la noche. Pertenecen a la familia de los sensores Radar (Radio Detection and Ranging), desarrollados a tal grado en las últimas dos décadas, que se desprendió toda una nueva línea de Radares, conocida bajo el nombre de “Radares de Apertura Sintética” (SAR - Synthetic Aperture Radar), la cual, gracias a su configuración particular, permite la creación de imágenes tridimensionales que detallan la superficie terrestre con un alto nivel de resolución, prescindiendo de antenas de gran tamaño. Esta tecnología también se destaca por la gran capacidad que posee para atravesar nubes y toda clase de condiciones meteorológicas, haciéndola inmune a las lluvias, nevadas, cenizas y vientos, al trabajar con radiaciones pertenecientes al espectro electromagnético de las microondas (Hermosilla, 2016).

El uso de satélites de alta resolución permite obtener una gran densidad de puntos en estas infraestructuras de carácter lineal, facilitando un análisis muy detallado del movimiento que se produce (Pros, González y Martínez, 2013).

Su nombre –Radar de Apertura Sintética- lo recibe debido a que durante su vuelo sobre la superficie terrestre a una velocidad constante, el SAR se encuentra continuamente almacenando los parámetros de los ecos que son recibidos cada vez, desde una posición distinta. Se dice que la suma coherente de estos ecos permite “sintetizar” en forma virtual la apertura de una antena más grande a la real (Zozaya, 2015).

Una de las más recientes técnicas que se vale de la tecnología SAR es la llamada Interferometría SAR (o InSAR), capaz de medir diferencias de altura en el mismo pixel entre dos imágenes distintas capturadas en distintas fechas y desde posiciones cercanas, generando un sinnúmero de aplicaciones en beneficio de toda la humanidad (Hermosilla, 2016).

La técnica InSAR se funda en el procesamiento y estudio de la información adquirida a través de imágenes SAR. Se precisan diferentes fases en el tratamiento de la técnica InSAR: la toma de los datos, la confección interferométrica y la creación de planos de subsidencias.

De las utilidades más notables del InSAR se destacan: divisar o bien examinar las consecuencias de imperfecciones en zonas residenciales; en áreas víctimas de terremotos; en los movimientos de tierras; en zonas volcánicas; y en deslizamiento de glaciares.

Mediante SAR podemos llegar a realizar estudios o generar mapas de deformación históricos, entendiendo que nos podemos remontar hasta el punto en que existan imágenes archivadas (en el caso ERS, desde 1991 hasta nuestros días), mientras que con las técnicas tradicionales nos restringimos a estudios anteriormente planificados y motivados, generalmente, por el conocimiento a priori de la deformación (Agudo, y otros, 2015).

A lo largo de la generación de cada imagen SAR consigue alrededor 100 millones de medidas, a diferencia que con GPS logramos, si se usa adquisición manual, cerca de decenas, centenares o millares de puntos.

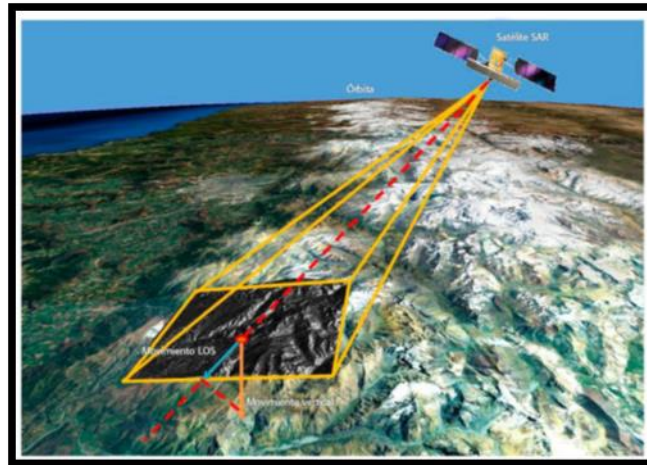


Figura: Geometría de adquisición de las imágenes SAR

Fuente:(Espinosa y Mora, 2012)

Asimismo, el SAR no tan sólo suministra una ganancia intensiva de datos, sino que esta ganancia se efectúa de modo regular en el tiempo. Esto proporciona los trabajos de seguimiento de los asientos durante un tiempo.

➤ Adquisición de los datos SAR

Consideramos un satélite, por ejemplo, el satélite ERS-1 de la Agencia Europea, que se encuentra a una cota nominal de 785 km y tiene una velocidad aproximada de 10 km/s. La configuración del sistema se basa en una antena situada sobre una plataforma satelital que transmite pulsos de microondas a intervalos regulares. Los pulsos se propagan por la atmósfera hasta llegar a la superficie terrestre, donde se producen varias reflexiones debidas a la interacción con diferentes objetos. Los ecos que vuelven en la dirección de la antena se adquieren por la misma antena, que actúa como emisor y receptor. El retardo de cada eco es: $t = 2R/c$, donde R es la distancia antena-blanco y c es la velocidad de la luz. Hemos de tener en cuenta que la distancia recorrida por el pulso entre el satélite y un punto del terreno es doble (consideramos la ida y vuelta del pulso). El muestreo del terreno se obtiene mediante la repetición de los pulsos con una frecuencia que se denomina PRF (pulse repetition frequency). Mediante este muestreo obtenemos información en dos direcciones: en la dirección de range, dirección que une el satélite con el punto observado, y, en la dirección de azimuth, dirección de vuelo del satélite. (Agudo, y otros, 2015).

Un sistema SAR mide distancias y fases en la dirección LOS (Line Of Sight, i.e. línea que une el satélite con el punto tierra que estamos observando), con un cierto ángulo de incidencia respecto a la vertical, θ , que para los satélites ERS es de aproximadamente 23° . Como consecuencia, el sistema puede medir deformaciones en la dirección LOS. Así, como resultado del escaneo que realiza el satélite obtenemos una imagen SAR compleja (entendida como una matriz 2D de valores complejos) que para los satélites ERS cubre unos 100 por 100 km². Cada píxel contiene dos componentes, que corresponden a la parte real e imaginaria de la señal compleja adquirida. A partir de dichas componentes podemos derivar una imagen de fase y otra de amplitud. La amplitud de una imagen SAR nos desvela información sobre la potencia de la señal reflejada por el terreno. Observamos que los diferentes tipos de superficie responden de manera diferente al impacto de los pulsos de microondas. Por ejemplo, las áreas urbanas muestran típicamente valores de amplitud muy altos, a diferencia de las zonas boscosas. (Agudo, y otros, 2015).

- Establecimiento de la metodología de las mediciones.

Con el fin de llevar a cabo las mediciones de asentamientos en diques a continuación se brinda una metodología que se compone de continuas operaciones a seguir. Gran parte de la totalidad de las operaciones son del tipo informáticas y por ello es necesario el empleo de un software que se especializa en el trabajo con imágenes satelitales con el nivel de complejidad que involucra. Seguidamente se puede observar el esquema de flujo a seguir, que comienza con la adquisición de las imágenes SAR, y concluye con la generación y visualización de un interferograma.

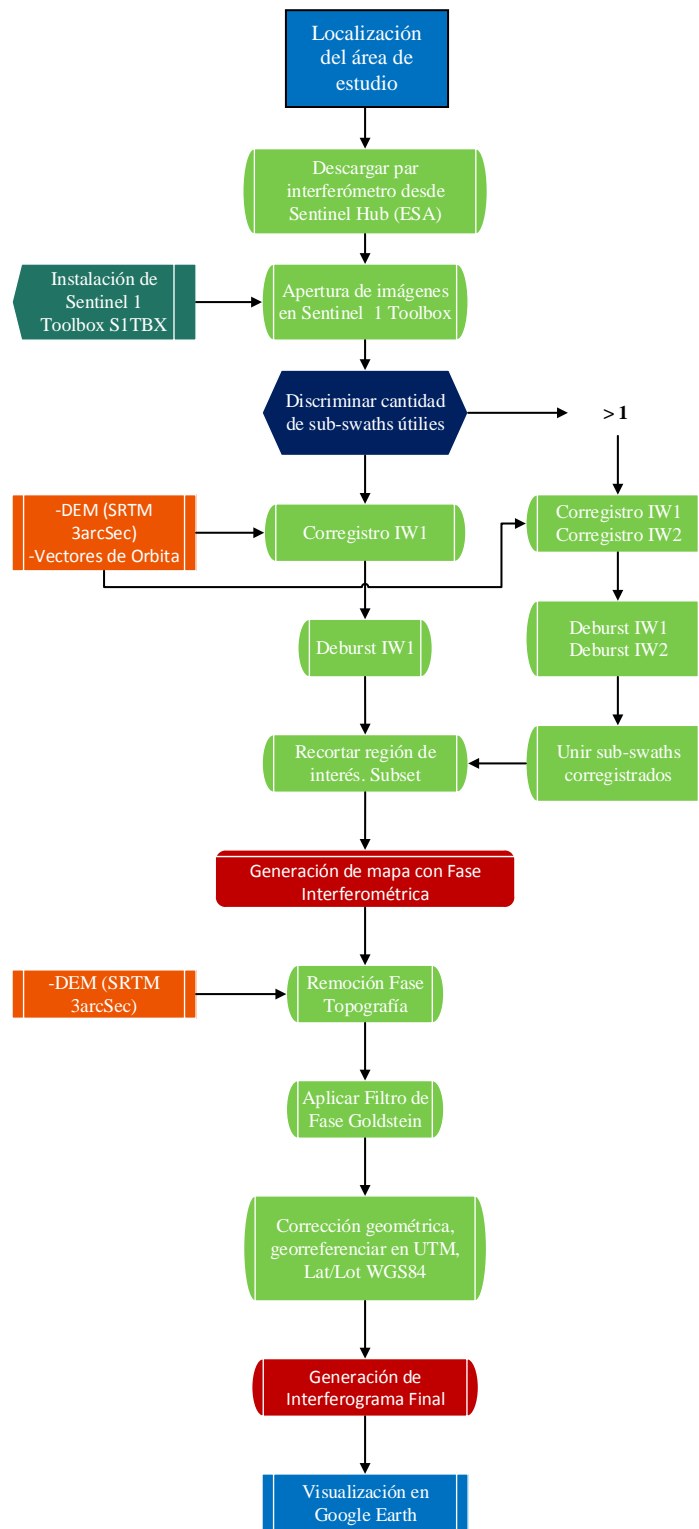


Figura: Diagrama con la metodología a seguir.

Fuente: (Elaborado por los autores)

- Localización del área de estudio:

Para inicial, se localiza el área en estudio dentro del mapa. Este emplazamiento se puede llevar a cabo en la misma plataforma desarrollada por la ESA bajo el nombre de Sentinel Scientific Data Hub, donde se encuentran gratuitamente disponibles los productos Sentinel-1, Sentinel-2 y Sentinel-3. A la plataforma se accede directamente desde <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>

- Descarga de par Interferométrico SAR

Para la descarga de imágenes, es preciso registrarse y adquirir un perfil con usuario y contraseña, que es totalmente gratuito. Para localizar las imágenes de trabajo, se requiere ingresar los criterios de búsqueda y delimitar la región de interés. En este caso, se encierra la región que rodea el área objeto de estudio, se marca la opción para Sentinel-1 y se define el período de captura e ingestión de imágenes. Se detallan el tipo de producto Single Look Complex, el modo de adquisición Interferometric Wide swath y la polarización deseada (VV o VV+VH).

Automáticamente el buscador extiende todas las imágenes capturadas por el sensor y disponibles en la plataforma bajo las especificaciones ya ingresadas. Para seleccionar un par de imágenes SAR compatibles, se debe tener especial atención tanto en la polarización como en la captura ascendente o descendente de las imágenes. Para la descarga, se debe considerar que cada imagen Sentinel-1 pesa aproximadamente entre 2 a 3 Gb si posee un solo sentido de polarización (VV o HH) y entre 5 a 7 Gb si posee doble polarización (VV+VH o HH+HV).

- Sentinel-1 Toolbox (S1TBX) y apertura de imágenes SAR

Las operaciones que continúan estarán realizadas en el software Sentinel-1 Toolbox, que se desarrolló y distribuyó por la Agencia Europea Espacial (ESA). Este programa incluye una compilación de herramientas de procesamiento y análisis capaz de tolerar los formatos de misiones SAR de la ESA. Estas misiones incluyen Sentinel-1, ERS-1&2 y ENVISAT. S1TBX admite la realización simultánea de múltiples procesos de forma independiente; incluye herramientas de calibración, filtros de speckle, corrección, ortorectificación, mosaqueado, polarimetría e interferimetría (ESA). Tras la descarga de las imágenes SAR, éstas se abren directamente desde S1TBX. La visualización de la imagen se obtiene tras desplegar las bandas y seleccionar la de Intensidad (físicamente hablando, componente de Amplitud). Las imágenes adquiridas en modo IW se componen de 3 escenas o subswath, llamadas IW1 (Interferometric Wide swath 1), IW2 e IW3, que abarcan desde la escena más cercana al sensor hasta la más lejana respectivamente. A su vez, cada subswath se subdivide en franjas llamadas Burst.

- Corregistro

Este paso es esencial antes de comenzar con el proceso interferométrico. Para comenzar, se asigna una imagen como la principal (master image) y otra como secundaria (slave image), y se selecciona el subswath IW1 para comenzar. Este proceso permite que los píxeles de la imagen secundaria se “remueban” con el fin de que se alinien con la imagen maestra. Conceptualmente, este procedimiento asegura que cada punto en tierra se corresponda con la misma coordenada (rango, azimuth) de pixel tanto en la imagen maestra como en la secundaria, representando cada punto de la superficie en el mismo pixel. Para tal efecto es imprescindible contar con un Modelo Digital de Elevación (DEM) de la zona Modelo Digital de Elevación (SRTM 3sec) y los datos orbitales para cada imagen (estos datos contienen información acerca de la posición y velocidad del satélite durante la adquisición de cada imagen), ambos automáticamente se descargan por el software.

- Deburst y Merge

La operación Deburst se utiliza para juntar cada franja Burst de cada subswath que ya se corrigió en una sola imagen. La diferencia es clara y permite trabajar el producto de forma más compacta.

Posteriormente la operación Merge se utiliza para ensamblar dos subswaths distintos siempre que éstos se encuentren uno al lado del otro.

- Subset y fase interferométrica

La función Subset que se incluye en S1TBX resulta de gran utilidad cuando se trata de pequeñas regiones de interés en medio de grandes regiones que se abordan por la imagen SAR. Esta función permite limitar el área de estudio por medio del recorte de la imagen y de paso acortar así los tiempos de procesamiento en las siguientes operaciones.

Una vez que se recorta la imagen SAR, los pasos a seguir son netamente interferométricos. Para comenzar con la generación de la fase interferométrica, ésta se forma mediante la multiplicación cruzada de la imagen maestra con el conjugado complejo de la secundaria. La amplitud de ambas imágenes se multiplica mientras que la fase queda representada por la diferencia de fase entre las dos imágenes. Este complejo procedimiento matemático se realiza automáticamente por S1TBX mediante la función “Interferogram Formation”, en esta función también se extrae la fase de tierra plana ϕ_{flat} .

- Remoción de fase topográfica

La fase interferométrica se conforma de cinco distintos componentes, el primero de ellos se removió en el paso anterior y corresponde a la fase que contribuye por la curvatura de la tierra ϕ_{flat} . De esta manera, despreciando la contribución de la fase atmosférica y anulando el ruido (suponiendo la conservación de las propiedades retrodispersoras de la superficie), sólo queda remover la fase generada por la topografía del terreno para aislar el movimiento que se induce entre ambas imágenes SAR. Esta fase topográfica puede ser

calculada y modelada mediante un Modelo Digital de Elevación (SRTM 3sec), el cual se descarga automáticamente por SITBX. Bajo esta operación, la fase interferométrica queda reducida a la fase inducida por el movimiento del terreno, obteniendo el primer interferograma en el estudio.

- Filtro de Goldstein

La fase interferométrica que se obtiene del paso anterior continúa visualmente distorsionada. Los principales factores que contribuyen en ésta distorsión son provenientes de ruidos termales, cambios temporales, o errores aleatorios en los procesos previos. El algoritmo de filtración que ideó Goldstein y Werner el año 1998, mejora significativamente la visibilidad de los asientos en un interferograma y reduce el ruido que se induce por factores externos decorrelacionados (Goldstein & Werner, 1998). Este filtro alcanza sus mejores resultados al suavizar la fase en regiones con altas correlaciones, mientras que resulta inútil en zonas donde la correlación es nula

- Corrección geométrica

Para poder visualizar correctamente el interferograma que se obtiene, éste debe encontrarse debidamente en posición en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas con un Datum específico, este posicionamiento se llama georreferenciación de la imagen. En este caso, el Datum a utilizar corresponde al WGS84 (World Geodetic System 84), estos parámetros se ajustan nuevamente en el SITBX.

En la nueva imagen que se obtiene ya es posible discriminar la ubicación de lugares cercanos al área de estudio, pero aún no se logra localizar a ciencia cierta la ubicación precisa dentro del mismo interferograma. Para ello resulta ventajoso contar con el software de visualización gráfica del globo completo provisto de mapas tridimensionales, Google Earth.

- Visualización en Google Earth

Para montar una imagen externa en Google Earth se requiere una georreferenciación en el sistema de coordenadas Lat/Lon WGS84, el cual también se encuentra disponible en las herramientas de SITBX.

Al observar detenidamente el interferograma que se obtiene mediante el proceso de interferometría diferencial, la escala de Fase desplegada automáticamente al costado izquierdo de Google Earth permite analizar la magnitud del asentamiento.

La secuencia con que se mueven los colores dentro de un interferograma resulta un factor clave al intentar discriminar entre un movimiento ascendente o descendente del terreno en cuestión. Según la regla interpretativa si al observar el valor de la fase se dirige desde los valores positivos hacia los negativos, entonces el orden sugiere un acercamiento de la

superficie al sensor, es decir, esta superficie describe un levantamiento; en cambio, si se dirige desde los negativos a los positivos, entonces el orden sugiere un alejamiento relativo de la superficie al sensor, y por lo tanto un movimiento de subsidencia o asentamiento; esto se debe a que la fase interferométrica representa una medida de distancia entre el Sensor que captura la imagen y la superficie observada, la cual puede verse disminuida (se acorta distancia) como amplificada (se incrementa la distancia). Considerando que por cada ciclo que se completa se tiene la mitad de la longitud de onda con que trabaja el satélite radar.

El control los autores proponen realizarlo en dependencia de donde existen cambios de geometría de los diques para así saber el comportamiento de la estructura. A demás se sugiere analizar los datos de 6 meses atrás para determinar la velocidad de asentamiento y cuando culminaran estos.

Conclusiones:

Los diques son estructuras que se pueden clasificar en dependencia de su utilización o materiales componentes. Al ser estructuras construidas sobre el sueles, es característico el asentamiento en ellos. Hasta que se asienten la cantidad que se establece por el inversionista no se deben llevar los diques hasta la cota de proyecto. En Cuba predomina el uso de Niveles Ópticos y Estaciones Totales para la medición de asentamientos, pero a nivel mundial cada día surgen métodos nuevos que son aplicables a estas acciones topográficas. El método a utilizar por cada usuario depende en gran medida de la precisión que necesita y la que le es capaz de brindar el equipo. Donde exista un área sin puntos de referencia y se persiga preservar al máximo la vegetación autóctona, es recomendable usar la Interferometría con Radar de Apertura Sintética (InSAR). Este método proporciona descargar de internet los datos de las capturas realizadas por satélites SAR y con simples programas informáticos medir los asentamientos en los diques por el período deseado, incluso años.

Bibliografía

1. ACOSTA GONZÁLEZ, L. E., RICARDO DESDÍN, S. E., CANO RICARDO, Y. & RIVAS FREEMAN, E., 2017. *Monitoreo geodésico de los asentamientos en tanques verticales de almacenamiento*. Holguín.
2. ACOSTA GONZALEZ, L. E., 2011. *Monitoreo del nivel de vulnerabilidad geotecnica en estructuras por metodos goeodésicos*. Habana.
3. ACOSTA, L. E., 2011. *Monitoreo del nivel de vulnerabilidad geotécnica en estructuras por métodos geodésicos*. La Habana.
4. ACOSTA, L. Y. G. J., 2007. *La Geodesia en los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos de desastres*. Habana.
5. AGUDO, Y OTROS, 2015. *¿Como medir deformaciones del terreno con teledetección radar?*.
6. AHRENS, J., 1987. *Characteristics of reef breakwaters*. CERC, Vicksburg USA, Technical Report CERC-87-17.
7. AHRENS, J. P. Y. J. C., 1990. *Design and Performance of Reef Breakwaters*. Journal of Coastal Research, SI Vol. 7, pp. 61-75.
8. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 2014. *API 653. Welded Steel Tanks for Oil Storage, 5*. Washington, DC, USA.
9. AUTODESK, 2017. *AUTODESK KNOWLEDGE NETWORK*. Obtenido de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad-map-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/MAP3D-Use/files/GUID-7C7DD8A7-B561-45B0-A803-852E0A667F3C-htm.html>.
10. BERRY, P. L. & REID, D., 1997. *Mecanica de Suelos*. Ciudad de México.
11. CALIFORNIA, D. O. W. R. T. C. N. R. A. S. O., 2012. *Urban Levee Design Criteria*.
12. CAPOTEA, A. Y OTROS, 2015. *Nuevo Dique de Poniente del Puerto de Almería (1.a fase)*. Revista Iberoamericana del Agua 3.
13. CASTAÑEDA DUCUARA, L. J. & MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, W. A., 2018. *Análisis comparativo entre levantamientos topográficos convencionales de detalle versus*

- tecnología lidar terrestre estacionaria, aplicada a deformaciones en estructuras de gran tamaño.* Universidad distrital francisco José de caldas, bogotá.
14. CEM, 2003. *Coastal Engineering Manual - CEM.M 1110-2-1100.* US Army Corps of Engineers – Washington, D.C.
 15. CHAQUEA, 2016. *Análisis y diseño para la rehabilitación del dique marginal derecho del Río Cali entre el Km 25+000 Y 25+300.* Pontificia Universidad Javeriana Cali.
 16. CHENG, 2002. *Large Structure Health Dynamic Monitoring Using GPS Technology.* Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University.
 17. COLECTIVO DE AUTORES, 2018. *Niveles Ópticos. Fundamentos de instrumental.* Departamento de Agrimensura. Universidad Nacional de la Plata.
 18. CORREDOR A, S. M. P. E. M. E. G.-M. M. M. J., 2014. *Single-layer Cubipod armored breakwaters in Punta Langosteira (Spain).* Proc. of 34th International Conference on Coastal Engineering. ASCE2014;34.
 19. DAS, B. M., 2007. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* México.: Thomson and Leaning.
 20. DEPARTMENT OF THE ARMY, U. A. C. o. E. M., 2002. *Structural Deformation Surveying.* Washington, DC 20314-1000.
 21. ESRI, 2016. *ArcMap.* Obtenido de ArcGis For Desktop: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>.
 22. FERNÁNDEZ, W. D., 2015. *Mejora de la precisión planimétrica y altimétrica en levantamientos topográficos.* Studiositas.
 23. FREDLUND, M. D. F. D. G. & W. G. W., 2000. *An equation to represent grain-size distribution.* Canadian Geotechnical Journal.
 24. GALÁN MARTÍN, D., 2011. Control de movimientos en presas mediante DGPS. Aplicación a la presa de La Aceña, España. *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México, vol. II, núm. 3, julio-septiembre de 2011* , pp. 159-176.
 25. GANZHI FAJARDO, F. P. & PINOS RUIZ, C. F., 2014. *Control de asentamientos de diques sobre suelos blandos construidos en el Proyecto Control de inundaciones del Río Cañar.* Cuenca, Ecuador .

26. GARDEY, P., 2017. *Definición de dique - Qué es, Significado y Concepto*. Florida.
27. GEOCUBA ESTUDIOS MARINOS, 2015. *Conceptualización del Plan General de relleno de Cayo Buba*. La Habana.
28. GEOCUBA, 2004 . *Metodología para el control de deformaciones de obras a partir de métodos geodésicos*.
29. GIL RUIZ, J. & OROZCO COLLAZOS, J. A., 2016. *Diseño de la rehabilitación del dique del Río Cauca entre el Km 18 + 925 A Km 19 + 025 empleando cuatro materiales disponibles en la Ciudad de Cali*. Pontificia Universidad Javeriana Santiago de Cali.
30. GOLDSTEIN, . R. M. & WERNER, . C. L., 1998. *Radar interferogram filtering for geophysical applications*. California: California Institute of Technology.
31. GUTIÉRREZ-SERRET R, G.-G. J., 2015. *Diseño, construcción y explotación de diques de abrigo portuario en España desde finales del siglo XX*. Madrid., pp. 80-97.
32. GYSSELS, P., 2014. *Optimización y diseño de estructuras de defensa costera de enrocado en el litoral argentino*. Universidad Nacional de Córdoba.
33. GYSSELS, . P. Y OTROS, 2013. *Breakwater stability study by a physical model*. IMTA Vol. iv, núm. 4.
34. HERMOSILLA DÍAZ, D. E., 2016. *Interferometría Radar de Apertura Sintética (InSAR) aplicada al estudio del movimiento en laderas adenañas al volcan Calbuco con ayuda de imagenes Sentinel-1*. Universidad Técnica Federico Santa María.
35. INSTITUTE., A. P., 2014. *API 653. Welded Steel Tanks for Oil Storage*, 5. Washington, DC, USA: API Publications.
36. JIN LUO, Q. Z. L. L. W. X., 2018. *Monitoreo y caracterizando la deformación de una presa de tierra en la provincia de Guangxi, China*. Engeo.
37. JULIAN, A. H., 2014. *Metodología para el análisis de estabilidad de taludes*. Madrid.
38. LARSON, R. E. B. P. E. L., 1997. *Prediction of settlements of embankments on soft, fine-grained soils*. Londres.
39. LEIVA LLERENA, I., 2017. *Tendencias actuales en el análisis de la integridad de presas de tierra*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

40. LLIGÜI ORTEGA, E. A. & ÑAUTA ÑAUTA, P. E., 2014. *Análisis geotecnico-ecológico comparativo entre diques construidos con materiales arcillosos y gravosos en el Proyecto Control de inundaciones del Río Cañar*. Cuenca.
41. MACIÑEIRA E, P. E. B. V. S. J. N. F., Proc. Coastal Structures and Solutions to Coastal Disasters Joint Conference, ASCE 2015, 9-11Sep. *Probabilistic design of the secondary breakwater in the new harbour basin of the outer port of A Coruña*. Boston.
42. MEDINA JR, V. C., 2014. *Diseño y construcción de diques rompeolas*. s.l.:Ingeniería del Agua, IWA Publishing-Editorial UPV 2014;18.1.
43. MILÁN GUEVARA, C. A., MACHADO QUEROL, I. & RUEDA PÉREZ, J., 2018. *Control de deformaciones en embalses con el empleo del taquimetro electrónico TS-09 Plus para la nivelación trigonométrica*. La Habana
44. MONTERO, J. F., 2016. *Una contribución al establecimiento del margen de seguridad contra el deslizamiento de presas de gravedad en explotación en función de la información disponible*. Lima.
45. NC, 1.-1., 1987. *Monumentos Geodésicos. Diseños y Dimensiones*". La Habana.
46. NOVOA ARMAS, R., 2002. *Criterios para diseñar presas de tierra prioridad y secuencia*. Editorial ISPJAE, Cuba.
47. NOVOA ARMAS, R. & HORTA MESTAS, ., E., 2010. *Presas de Tierra*.
48. PAULBLGIS, 2016. *GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS BLOG*. California.
49. PODEST, E., 2017. *Synthetic Aperture Radar*. Texas.
50. PROS LLAVADOR, F., GONZÁLEZ LÓPEZ, S. & MARTÍNEZ BENJAMÍN, J. J., 2013. *Control del asentamiento de los diques Este y Sur del puerto de Barcelona mediante datos InSAR*. Torrejón de Ardoz (Madrid).
51. ROYAL-HASKONING-DHV, 2013. *Aguablanca Dike along the Cauca River, Cali, Colombia Diagnosis and recommendations*.
52. RUTLLANT, D. &., 1974. *Libro de Mecánica de Suelos en la Ingeniería Vial. Capítulo 5*. Santiago de Chile.

53. SANTOSA, M. & OTROS, C. Y., 2015. *Aspectos innovadores en el diseño y construcción del dique Oeste en el puerto exterior de A Coruña en Punta Langosteira*. Madrid, Revista Iberoamericana del Agua, pp. 89-100.
54. SHORT, D. N., 2009. *Remote Sensing Tutorial*. London.
55. SISGEO, 2016. *Catálogo Instrumentación Geotécnica*.
56. TAW, 1998. *Fundamentals of water retaining structures*.
57. VASQUEZ, N., 2001. *Tesis Doctoral. Cálculo de la subsidencia unidimensional debida a los descensos del nivel piezométrico. aplicación al casco urbano de Murcia y a los efectos sobre sus edificios*. Sevilla.
58. VELÁZQUEZ SENTMENAT, A., 2016. *Análisis de las filtraciones y la estabilidad de taludes de presas de tierra*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
59. WRD, C., 2012. *Urban Levee Design Criteria California Department Of Water Resources*. Sacramento.
60. ZOZAYA, A. J., 2015. *Simulador básico de un radar de apertura sintética*. Cotopaxi, Ecuador: Instituto Espacial Ecuatoriano.