



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

Facultad de Ingeniería

Sede "Oscar Lucero Moya"
Departamento de Construcción

Trabajo de Diploma

Sistema de Información Espacial de Deformaciones (SIED) con Tekla BIMsight en los muros de contención

Autor: Jorge Alejandro Pupo Núñez

Holguín, 2017



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

Facultad de Ingeniería

Sede "Oscar Lucero Moya"
Departamento de Construcción

Trabajo de Diploma

Sistema de Información Espacial de Deformaciones (SIED) con Tekla BIMsight en los muros de contención

Autor: Jorge Alejandro Pupo Núñez

Tutor: Dr.C. Luis Enrique Acosta González

Holguín, 2017

PENSAMIENTO

“El nivel de desarrollo determina la madurez del proyecto”

Cristóbal Bernal

AGRADECIMIENTOS

Teniendo por cierto que ni lo alto, ni lo profundo me puede separar de Dios le agradezco a él por estar a mi lado apoyándome, cumpliendo fielmente con sus promesas de nunca abandonarme y de asistirme con su Gracia y misericordia. Todo éxito de esta investigación se la debo a él, por poner en mí el querer como el hacer y por supuesto a mi tutor que por sus indicaciones, correcciones y exhortaciones sabias que me impulsaron a ser un profesional. A mis amigos en especial a Raikel Moreno y Juan Carlos que siempre pusieron su granito de arena para que llegara hasta el final. A mis padres y familiares que de una manera u otra son parte de mí.

DEDICATORIA

Para aquel que es mi mejor amigo, compañero, padre, mentor, guía, ayudador y maestro el cual aumento mis fuerzas, me levanto al decaer los ánimos, ciño mi vida con virtudes, me coronó de favores y de misericordias, que sacio de bien mi boca de manera que rejuveneciese como las águilas, que pasando por el valle de sombra de muerte cambio mis lágrimas en fuentes, fue mi escondedero en contra del turbión, sombra de gran peñasco en tierra calurosa y arroyos de aguas en tierra de sequedad: mi Dios.

RESUMEN

En el presente trabajo se elabora un procedimiento del Sistema de Información Espacial de Deformaciones (SIED) con Tekla BIMsight para la modelación gráfica, que permite la valoración detallada de la interacción terreno – estructura, con un enfoque integrador para el estudio de las deformaciones en los dominios geométrico y del tiempo. Los resultados de las mediciones geodésicas de alta precisión sirvieron de base para determinar las deformaciones (verticales y horizontales) en el depósito exterior de mineral en la Fábrica de níquel “Ernesto Che Guevara” en Moa. El procesamiento incluyó la digitalización del área de estudio en Auto CAD 2013. Se exportan las bases de datos, conformadas por las coordenadas de los puntos (x, y, z), fechas de observación, cargas, características de los suelos y el mapa digital. De esta manera el Sistema de Información Espacial de Deformaciones se aplica como una herramienta para el manejo de la información, utilizando las bondades que ofrece el programa Tekla BIMsight para hacer consultas, gráficos y almacenamiento de todas las informaciones. A partir de la modelación gráfica, se hace una valoración detallada de la interrelación terreno – estructura, para dar la oportunidad y el valor de uso de la Geodesia en el control de obras durante los procesos de construcción y explotación. Los resultados usando la herramienta Tekla BIMsight, son obtenidos con gran rapidez y dinamismo, pues se visualizan en el colaborador BIM simultáneamente con su ejecución. Los Sistemas de Información Espacial, particularmente en combinación con sistemas de compilación de datos, forman la plataforma básica en la planificación, implementación, registro y monitoreo de la mayor parte de las obras. En el Trabajo de Diploma se utilizaron los métodos de investigación científica: teóricos, histórico-lógico, análisis y síntesis, hipotético- deductivo y la modelación; de igual manera utilizamos métodos matemáticos y estadísticos. Empleamos como Norma para la edición bibliográfica el sistema APA 2016.

ABSTRACT

Presently work is elaborated a procedure of the Spatial Information System of Deformations (SISD) with Tekla BIMsight for the graphic modeling that allows the detailed valuation of the interaction structure-soil, with an integrative focus for the study of the deformations in the geometric and of the time domains. The results of the geodesic measurements of high precision served as base to determine the deformations (vertical and horizontal) in the external deposit of mineral in the nickel Factory "Ernesto Che Guevara" in Moa. The prosecution included the digitization of the study area in Auto CAD 2013. The databases are exported, conformed by the coordinates of the points (x, y, z), observation dates, loads, characteristic of the soils and the digital map. This way the Spatial Information System of Deformations is applied like a tool for the handling of the information, using the kindness that offers the program Tekla BIMsight to make consultations, graphics and storage of all the information. Starting from the graphic modeling, a detailed valuation of the interrelation structure-soil is made, to give the opportunity and the value of use of the Geodesy in the control of works during the construction processes and exploitation. The results using the tool Tekla BIMsight, they are obtained with great speed and dynamism, because they are visualized simultaneously in the collaborating BIM with your execution. The Spatial Information System, particularly in combination with of the compilation data systems, they form the basic platform in the planning, implementation, registration and monitoring of most of the works. In the Work of Diploma the methods of scientific investigation were used: theoretical, historical-logical, analysis and synthesis, hypothetical - deductive and the modeling; in a same way we use mathematical and statistical methods. We use as Norma for the bibliographical edition the APA 2016 system.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO - I ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN ESPACIAL DE DEFORMACION ESTRUCTURAL CON EL SOFTWARE TEKLA BIMSIGHT	7
I.1 Origen de las deformaciones en las obras de ingeniería.....	8
I.1.1 Clasificación de las deformaciones.....	10
I.1.2 Términos y definiciones	14
I.2 Métodos geodésicos para el monitoreo de las deformaciones	15
I.3 Modelación de las deformaciones en estructuras.....	18
I.3.1 Modelos y terminologías para el análisis geodésico de las deformaciones.....	20
I.3.2 Interacción del terreno- estructura	22
I.3.3 Análisis tradicional o convencional de las deformaciones	23
I.3.3.1 Sistemas dinámicos y análisis avanzado de las deformaciones.....	24
I.3.3.2 Análisis Espacial de las deformaciones.....	25
I.4 Conclusiones parciales.....	29
CAPÍTULO - II PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN ESPACIAL DE DEFORMACION ESTRUCTURAL CON SOFTWARE TEKLA BIMSIGHT	31
II.1 Definición del fenómeno	32
II.1.1 Determinación de los rasgos característicos y métodos de medición.....	32
II.1.1.1 Selección del sistema de referencia	32
II.1.1.2 Colección de datos	33
II.2 Características de los registros	34
II.2.1 Estudio geodésico para el monitoreo de las deformaciones.....	34
II.2.1.1 Atributos	36
II.2.1.2 Cálculos estadísticos	38
II.2.2 Mapa digital	40
II.2.2.1 Análisis espacial	41
II.3 Principales resultados obtenidos	42
CONCLUSIONES GENERALES	54
RECOMENDACIONES	55

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se han desarrollado nuevos procedimientos y terminologías en la modelación y análisis de las deformaciones a partir de un enfoque integrador, con el empleo de los novedosos modelos (descriptivos y causa-respuesta) que describen el comportamiento de la interacción terreno-estructura, expresando los resultados mediante un Sistema de Información Espacial de Deformaciones (SIED), donde el desarrollo de la modelación gráfica permite la valoración detallada de la posición real del objeto.

Las mediciones de precisión efectuadas en la topografía aplicada han encontrado un uso amplio en la cuantificación tridimensional de las deformaciones y el estudio de grietas; en esta especialidad se han establecido metodologías y todo un sistema de teorías empleadas en la práctica por muchos países. La tecnología Sistema de Información Espacial (SIE) también es una muestra de este desarrollo y se revela como una tecnología informática simple, fácil de implementar, poco costosa y de gran utilidad en organizaciones donde la información geográfica es un signo distintivo de su actividad.

En GEOCUBA Villa Clara se diseñaron los módulos SAITA (Asentamientos y Desplazamientos), que es una aplicación Windows, usada para el monitoreo de los asentamientos en objetos de obras hidrotécnicas (Milán G.C.A, 2008).

La situación polémica está determinada porque en Cuba a partir de mediciones geodésicas reiteradas de alta precisión, nivelación geométrica, se estudia el comportamiento espacio – temporal de las deformaciones de objetos, pero estos estudios se han limitado a presentar los resultados en una dimensión (1D) y dos dimensiones (2D), no estructurando las conclusiones en un SIED que facilite el entendimiento multidisciplinario.

Como la Industria Niquelífera ha tomado un gran auge constructivo y productivo, ha surgido la necesidad con la aplicación de técnicas digitales, modelar el comportamiento en espacio y tiempo de los distintos objetos de obra de las plantas de níquel, que

permitan mayor posibilidad de estudios e interpretación de los resultados de las deformaciones (horizontales y verticales).

El objeto estudiado está ubicado en la fábrica de Níquel “Ernesto Che Guevara” de Moa, en un área compleja con características geológicas y estructurales de interés, presentándose la necesidad de hacer el modelado de las deformaciones horizontales y verticales, para lograr estudios de deformación estructural para la interpretación de los resultados de las mediciones geodésicas mediante un SIED con el software Tekla BIMsight herramienta de colaboración en tres dimensiones, la cual nos permite la detección de choque de conflictos con vistas a emitir consideraciones sobre la estabilidad y seguridad del objeto estudiado.

Problema científico: ¿Como presentar los estudios de la deformación para facilitar la toma de decisiones oportunas en los procesos de construcción y explotación?

Objeto de investigación: Muros de contención de Deposito Mineral.

Campo acción: Estudios de deformación con la herramienta Tekla BIMsight.

Hipótesis: Si se utiliza la herramienta Tekla BIMsight para los estudios de la deformación, es posible la visualización gráfica de los desplazamientos y la toma de decisiones oportunas durante las diferentes fases del proceso inversionista de una obra ingeniera

Objetivo general: Realizar estudios de deformación de los muros de contención de depósitos de mineral con la utilización de un SIED con el Tekla BIMsight.

Objetivos específicos:

1. Realizar el análisis actual y la perspectiva del SIED con Tekla BIMsight
2. Elaborar un procedimiento para estudios de las deformaciones a través del SIED con Tekla BIMsight.

3. Validar el procedimiento en el caso de estudio “Muros de contención en Depósitos de mineral.”

Métodos a emplear en la investigación:

- Dialéctico materialista; Servirá de base para la concepción general del trabajo y permitirá la orientación y enriquecimiento de los métodos particulares utilizados para la ejecución de las diferentes tareas. En combinación con los demás métodos será utilizado en todas las etapas de la investigación.

Métodos lógicos

- Histórico–lógico; Para investigar el desarrollo que ha tenido el tema (antecedentes) y apoyar los conocimientos que sobre este existen en Cuba y el mundo.
- Análisis y la síntesis; En la definición de las aplicaciones a emplear, la interpretación de los resultados, explicación de los diferentes procesos y en la confección del informe final.
- Hipotético deductivo; En la elaboración de la Hipótesis, a partir de la cual se realizarán deducciones que arriben a la solución del problema.

Métodos empíricos

- Modelación; Modelar los resultados obtenidos a partir de los mapas temáticos del SIE.
- Observación; Durante las observaciones geodésicas, confección de la base de datos y obtención de los resultados.
- Medición; Se tendrá en cuenta durante los trabajos de obtención de los parámetros a pié de obra.

Variables:

- Independiente: Depósito Exterior de mineral
- Dependiente: Base cartográfica del depósito, coordenadas (X, Y, Z) de las marcas de asentamiento, valor de los desplazamientos obtenidos y de la geología en el lugar y el SIED (que varía en dependencia de las actualizaciones)

Novedad del tema:

Se centra principalmente en la realización del procedimiento en el Sistema de Información Espacial de Deformación como herramienta en los análisis integrados y multidisciplinario de las deformaciones en un objeto real, donde a partir de la modelación gráfica con software Tekla BIMsight, permite la valoración detallada de la interacción terreno-estructura para la toma de decisiones interdisciplinarias, lo que constituye el primer reporte del tema en la Universidad de Holguín y en el Territorio.

Actualidad del tema:

Los modelos y tecnologías actuales para el estudio de las deformaciones en las estructuras, es una tarea multidisciplinaria, donde las tendencias actuales apuntan a la aplicación del software Tekla BIMsight al SIED como herramienta para el manejo de los resultados, que está en correspondencia con el diseño de investigación propuesto aporta a la solución de esta problemática en nuestro país.

Los sistemas de información espacial, particularmente en combinación con sistemas de compilación de datos, forman la plataforma básica en la implementación, registro, y monitoreo de la mayor parte de las estructuras ingenieras. La investigación guarda relación con el uso de sistemas de información espaciales y los sistemas de soporte del diseño ingeniería civil, incluyendo la grabación y visualización del desplazamiento para la vigilancia de las estructuras.

Aportes de la investigación:

- Desarrollo de un nuevo enfoque en el procedimiento del SIED para el estudio de las deformaciones.

- Sistema de Información Espacial con Tekla BIMsight para la modelación gráfica, que permita la valoración detallada de la interacción terreno - estructura.

Para dar solución los objetivos planteados se utilizó la siguiente metodología de investigación:

1. Revisión bibliográfica del estado actual del SIED, en las temáticas abordadas en la investigación, a escala nacional e internacional.
2. Estudiar los procedimientos específicos utilizados en el SIED y del Tekla BIMsight para el monitoreo de las deformaciones en las obras, profundizando en los objetos estructurales, acorde a las tendencias mundiales más actuales, y las particularidades de los mismos en Cuba, con vista a establecer los que se utilizarán en nuestro país.
3. Analizar los procedimientos generales utilizados para la aplicación del SIED en el monitoreo de las deformaciones a escala nacional.
4. Establecer en el procedimiento actual del SIED un nuevo estudio espacial con software Tekla BIMsight, valorando las particularidades de las estructuras, cimientos y suelos de la industria del níquel.
5. Aplicar el procedimiento propuesto a un caso de estudio real "Depósitos de Mineral", que permita la validación del mismo, a partir de la toma de decisiones interdisciplinariamente.

Límite de la investigación: Confección del procedimiento de un Sistema de Información Espacial de las Deformaciones (horizontales y verticales) para el depósito exterior de mineral de la fábrica de níquel "Ernesto Che Guevara". Moa.

Estructura del trabajo:

La estructura de la tesis guarda una relación directa con la metodología de investigación establecida y se encuentra formada principalmente por una introducción general, dos

capítulos; en el primero se caracteriza el estado actual y perspectivas de los Sistemas de Información Espacial de Deformación Estructural con Tekla BIMsight. En el segundo capítulo se desarrolla un procedimiento para el diseño del Sistema de Información Espacial de Deformaciones (SIED) con Tekla BIMsight. Por último, se exponen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO - I ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN ESPACIAL DE DEFORMACION ESTRUCTURAL CON EL SOFTWARE TEKLA BIMSIGHT

En la actualidad, ha aumentado la cantidad de investigaciones en los estudios de las deformaciones; esta situación se explica, por el hecho de la aplicación de los sistemas geodésicos rigurosos para la vigilancia de la seguridad operacional de las obras ingenieras, una vez construidas y durante su explotación.

Dentro de los procedimientos de la modelación de las deformaciones, ha tenido un especial significado, la exposición de los resultados de las mediciones a través de un Sistema de Información Espacial de Deformaciones (SIED), utilizando una terminología que propicie el entendimiento con los especialistas de otras disciplinas (mecánicos, geólogos, geofísicos e ingenieros civiles).

El SIED funciona bajo el mismo principio de un Sistema de Información Geográfico (SIG) Vectorial, el cual está basado en la representación, por medio de vectores de la componente espacial, de los datos geográficos, esta representación se realiza a través de elementos primitivos (puntos, líneas y polígonos). Los componentes de un SIG de este tipo, según Milán G.C.A., 2008; son:

- Vectores de pares de coordenadas (datos posicionales).
- Descripción de las relaciones espaciales entre los gráficos primitivos (Topología).
- Tabla de atributos de los objetos representados.

Cada objeto espacial posee un identificador a través del cual es posible asociarlo a la Base de Datos (BD) que contiene los atributos no espaciales que lo caracterizan, ver Figura 1.

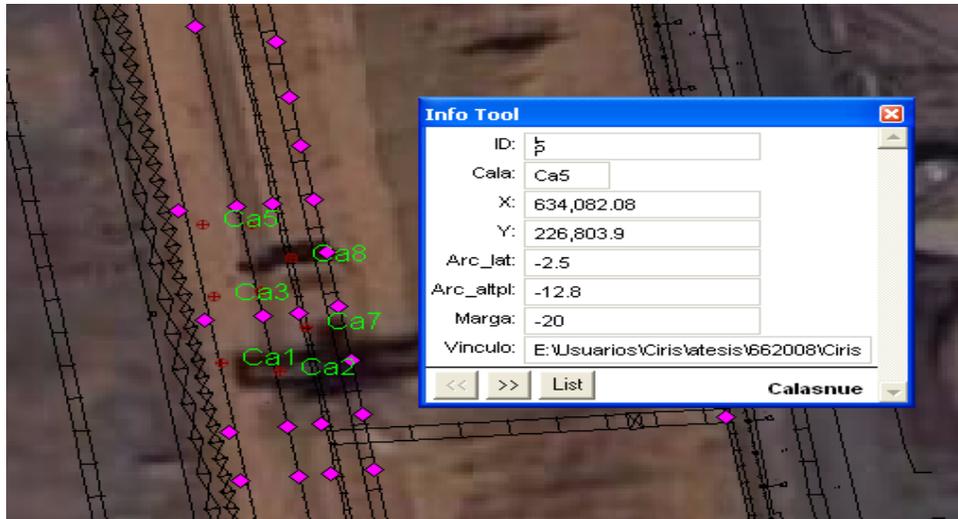


Figura 1. Ejemplo de asociación de la información gráfica con la alfanumérica.

La creación de ambas BD es una operación compleja que incluye procesos de preparación de la estructura a utilizar, captura y verificación. En todos los casos, los datos tienen que estar geoméricamente referenciados a un sistema de coordenadas y codificados para que puedan ser almacenados y posteriormente utilizados en el SIG.

El resultado es una base de datos completa que permite la realización de gestión y modelación de los datos.

Este estudio expone, críticamente, los problemas que enfrenta la ingeniería civil para darle solución a los estudios de las deformaciones.

I.1 Origen de las deformaciones en las obras de ingeniería

Según Acosta G.L.E., 2009, la deformación es un fenómeno espacial que ocurre fundamentalmente por la acción de las cargas en el transcurso del tiempo, en el cual varía la forma de un objeto o parte de éste y se expresa por dos componentes básicos: el asentamiento y el desplazamiento horizontal. Las cuales en obras estructurales han sido tratadas por varios autores (Milán G.C.A.,2008 y otros; United States Army Corps Engineering (USACE, 2002).

Las deformaciones en las obras de ingeniería surgen por la influencia de diferentes factores naturales y técnicos-exógenos, tanto en su base como en la propia construcción. Las mismas son originadas fundamentalmente por los movimientos complejos, espaciales y continuos de la superficie terrestre, los cuales pueden suceder tanto en el plano horizontal como vertical.

Las causas naturales se manifiestan por:

- Variación de las características geotécnicas del suelo, dentro de las cuales se destacan los cambios en la relación de vacíos y la orientación de las partículas bajo la acción de las cargas.
- Los procesos endógenos provocados por fuerzas tectónicas y sus resultados (terremotos, volcanes, etc.)
- Los procesos exógenos provocados por los fenómenos atmosféricos (lluvia, viento, sol, temperatura), manifestándose en la variación de las condiciones hidrotécnicas del suelo.

Las causas técnico-exógenas se manifiestan por:

- Las características estructurales relacionadas con la acción del peso de la obra y obras circundantes, la forma, dimensiones y consistencia del cimiento. Así como la distribución de las cargas dinámicas y estáticas en la obra.
- La vibración de los cimientos, provocados por el trabajo de diferentes agregados, mecanismos, movimiento del transporte y otras influencias dinámicas.
- Variación de las condiciones portadoras del suelo, relacionadas con la disminución o aumento del nivel natural de las aguas subterráneas durante la ejecución de los trabajos de construcción y explotación.

I.1.1 Clasificación de las deformaciones

Los movimientos de la obra en el plano horizontal se denominan desplazamientos horizontales; los que ocurren en el plano vertical se llaman asentamientos. Los movimientos verticales son los más tratados en la literatura consultada, según USACE (2002), se pueden presentar en forma de:

Asentamiento: Deformación que se origina como resultado de la consolidación del suelo bajo la acción del peso exterior y en casos aislados del propio peso del terreno. La característica matemática de los asentamientos de los cimientos se expresa por la magnitud de los segmentos verticales, que se hunde desde un plano tomado como inicial formado por la línea inferior del cimiento hasta la intersección de la superficie deformada de la base. Por otra parte, plantean que el asentamiento de una construcción no es más que el hundimiento de la misma bajo los efectos simultáneos de las compresiones del suelo y su deformación, debido a las cargas transmitidas a la cimentación por superestructura.

Desplazamiento horizontal: Deformación que ocurre en el plano horizontal y es caracterizada por un vector, con magnitud y sentido, al cual se le asigna por convenio un signo positivo o negativo (+ ó -) si el desplazamiento es a la izquierda o a la derecha con respecto al eje o alineación de partida, que se toma como referencia en el ciclo inicial o cero. En la práctica el desplazamiento horizontal se halla a partir de la diferencia o variación de las coordenadas planimétricas X, Y de un punto, en un ciclo cualquiera de observación t_i con respecto a las que tenía en un ciclo inicial o t_0 , (*Metodología de deformaciones, GeoCuba, 2004*)

Hinchamientos y encogimientos: Deformaciones originadas por el incremento o disminución del volumen de algunos tipos de suelos arcillosos al variar su humedad, temperatura o la acción de agentes químicos.

Hundimientos: Deformaciones de la superficie terrestre, causados por excavaciones de yacimientos minerales, disminución del volumen del manto freático, en una región considerable de territorio.

Los asentamientos se clasifican en función del tiempo de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1 Clasificación de los asentamientos en función del tiempo. (USACE, 2002)

Tiempo	Tipo de asentamiento	Etapas
$t=0$	Asentamiento inicial	Sci: Asentamiento por consolidación inicial. Sde: Asentamiento por distorsión elástica. Ssi: Asentamiento secundario inicial.
$t>0$	Asentamiento diferido	Sd: Asentamiento por consolidación primaria o diferido. Ssd: Asentamiento por consolidación secundaria o fluencia.
$t>>0$	Asentamiento secular	Ss: Asentamiento secular.

El asentamiento inicial tiene importancia en los suelos no saturados y se produce de forma instantánea por expulsión del aire. También su valor es considerable en los suelos saturados como las arenas y gravas que tienen un coeficiente de permeabilidad alto, luego cuando se aplican las cargas, el agua que ocupa el volumen de vacío abandona la muestra rápidamente. En esta etapa el más importante es el asiento por distorsión elástica.

El asentamiento diferido se produce en función del tiempo y es característico de los suelos de baja permeabilidad, como es el caso de las arcillas con coeficientes bajos de permeabilidad. Este se conoce también como asiento por consolidación primaria o edométrico.

El asentamiento secular tiene lugar después que concluye el diferido, su magnitud es pequeña y muy difícil de cuantificar su valor.

- De acuerdo al grado de uniformidad de su magnitud en un plano de obra, los asentamientos se clasifican en (Figuras 2 y 3):

1. Uniforme
2. No uniforme (diferenciales)



Figura 2. Asentamiento uniforme



Figura 3. Asentamiento diferencial

Los asentamientos uniformes son aquellos en que la magnitud del desplazamiento es igual en todos los cimientos de la obra (valores absolutos), los cuales en la mayoría de los casos no son causantes de daños en la estructura, excepto en las obras que posean instalaciones destinadas a la conducción de agua, gas electricidad, etc. Los mismos pueden ocurrir solo en aquellos casos cuando la presión provocada por el peso de la construcción y la compresibilidad de los suelos, en todas las partes bajo los cimientos, tienen valores iguales y pueden manifestarse como:

1. Asentamiento total de la base del cimiento aislado o del bloque estructural.
2. Asentamiento promedio de la base de la construcción en general.

Los asentamientos diferenciales son aquellos que el desplazamiento es desigual, tanto en los extremos de un cimiento, como en los cimientos contiguos, son en lo fundamental, consecuencia de la presión diferenciada, aplicada a las partes de la obra y de la compresibilidad irregular de los suelos debajo del cimiento. Los mismos pueden causar daños en el cuerpo de la obra y en algunos casos apreciables, manifestándose

en forma de grietas, que pueden dañar la apariencia externa de la construcción, e incluso causar su fallo o inutilidad y colapso.

En la generalidad de los casos, los asentamientos diferenciales se determinan por la diferencia de los asentamientos de dos cimientos contiguos o un cimiento aislado, lo cual trae como consecuencia el surgimiento de los siguientes desplazamientos (valores relativos) en el cuerpo de la obra:

1. Giro o inclinación,
2. Distorsión angular,
3. Deflexión relativa o flexión (f/Lc), definida por la relación entre la flecha de la deformación de la cimentación y el tramo flexionado de la construcción.
4. Angulo de torsión de la construcción.

Los asentamientos diferenciales que causan distorsión y daños en las estructuras, son una función de la uniformidad del suelo, la rigidez del suelo-estructura y la distribución de las cargas en la estructura. Las limitaciones para los asentamientos diferenciales dependen de la aplicación, estos, según USACE (2002), no deben exceder normalmente de 12 mm en edificios, de lo contrario pueden ocurrir grietas y daños estructurales. Los diques, terraplenes, estructuras de muchos pisos con sistemas de armadura flexible, son suficientemente flexibles para que por su rigidez no sea necesario considerar el análisis de asentamientos. Los pavimentos pueden ser asumidos como completamente flexibles.

Los asentamientos diferenciales pueden inducir la inclinación, que interfiere en las estructuras adyacentes y afectan el funcionamiento de las maquinarias y seguridad de las personas. Estos pueden causar grietas en las estructuras, torcimientos y obstrucción en puertas, ventanas, escaleras; desniveles de pisos y otros daños para viviendas y edificios. Los movimientos diferenciales pueden provocar la desalineación de muros; en el caso de las presas y canales reduce la eficiencia del paso del agua.

En las investigaciones llevadas a cabo por Milán T. (2007), expone la información básica sobre la existencia de aplicación web para el cálculo computarizado del análisis de deformaciones horizontales con observaciones geodésicas reiteradas. La aplicación hace uso de los Servicios de Mapa Web (WMS), desarrollado en base a normas de Consorcios de Geo espacial Abiertos, para la representación gráfica de resultados calculados en forma de Sistema de Información Geográfica "GIS", por sus siglas en ingles.

I.1.2 Términos y definiciones

Eficiencia: Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (RAE) Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado. (Según ISO 9000) Relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados.

Inclinación: Deformación que caracteriza la falta de verticalidad o desviación de la vertical de un objeto, para lo cual se establece la diferencia de verticalidad o plano de niveles superiores del edificio, estructura o parte de ellos con respecto a su base o cimiento. (USACE, 2002)

Modelación: Sistema concebido mentalmente o realizado en forma material, que reflejando o reproduciendo el objeto de la investigación, es capaz de sustituirlo de modo que su estudio ofrezca nueva información sobre dicho objeto. (Metodología de deformaciones, GeoCuba, 2004).

Seguridad: Cualidad de seguro. Que asegura algún buen funcionamiento, precaviendo que este falle, se frustre o se violente. (Según Diccionario de la RAE)

Tekla BIMsight: es un software de Modelado de Información para Construcción (BIM) para la cooperación de proyectos basada en modelos. Está disponible sin coste para que cualquiera lo instale desde internet y lo comience a utilizar. Esta aplicación fácil de usar, presenta el proyecto completo de construcción incluyendo toda la información de construcción necesaria de las diferentes disciplinas de construcción. Tekla BIMsight es mucho más que un nuevo visor de Tekla, ya que permite la comunicación e

interoperatividad utilizando la información de construcción con cualquier persona, ya sean usuarios de Tekla Structures como de otro software BIM. (Según el sitio web Arquirehab Software GRATUITO BIMsight de Tekla.htm.,20/03/2017)

BIM: Es una metodología de diseño que trata de automatizar el trabajo generado para la producción de planos en 2D y aprovechando las ventajas de modelado en 3D para simulaciones que ayudan a tomar decisiones sobre el proyecto y obra. (Gomez F. I.,2013)

I.2 Métodos geodésicos para el monitoreo de las deformaciones

Existen varios métodos ingenieros para estudiar y valorar las deformaciones que ocurren en las construcciones, basados principalmente en la teoría de la mecánica de suelos y en el estudio de las propiedades ingeniero – geológicas de la obra y su área de emplazamiento, sin embargo, ninguno de estos métodos de por sí, brindan una información tan inmediata, objetiva y veraz de las deformaciones como lo hace el método ingeniero-geodésico.

Este es un tema que ha sido tratado por varios autores, (Milán G.C.A.,2008, Acosta G.L.E.,2009 y otros, USACE, 2002).

La aplicación del método ingeniero-geodésico consiste en el establecimiento y observación, en lugares determinados de la construcción y su entorno, de un conjunto de puntos de control o chequeo de estabilidad. A estos puntos, con equipos ópticos de alta precisión, cintas métricas de acero invariables, reglas especiales de nivelación y otros, se le miden con elevada exactitud los elementos que determinan su posición: coordenadas x , y , z . Todos estos valores están referidos a un sistema inicial de coordenadas, y supuestamente son invariables. De esta forma se realizan mediciones en diferentes períodos de tiempo, principalmente en función de 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. Paralelamente se registran o se miden los diferentes 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 constructivos de la obra en su conjunto, así como de la tecnología y la fundamentación para el diseño y construcción de la obra.

De acuerdo con USACE, 2002, los trabajos geodésicos para la determinación de las deformaciones se llevan a cabo en el siguiente orden:

1. Confección del programa en el cual se precisa el método de observación, la precisión e instrumental necesario.
2. Ubicación de los puntos de apoyo y de control.
3. Organización de las observaciones.
4. Procesamiento del resultado de las observaciones, donde se determinan las características de estabilidad y seguridad de las obras durante su construcción y explotación; de este modo se pueden tomar las medidas necesarias para evitar roturas del equipamiento tecnológico que descansa sobre los cimientos de las estructuras y así evitar situaciones de catástrofe.

El estudio de los asentamientos de las obras ingenieras puede llevarse a cabo por los siguientes métodos geodésicos;

- Nivelación geométrica
- Nivelación hidrostática
- Nivelación trigonométrica
- Método estereofotogramétrico
- Determinación de alturas con Estación Total de precisión.

El método tradicional para la determinación de los asentamientos de las obras es la nivelación geométrica, pero con el surgimiento de las Estaciones Totales precisas, estas han ocupado el papel preponderante en los estudios de deformaciones.

Para la determinación de los desplazamientos horizontales se pueden emplear varios métodos, entre los cuales están: alineación (total, parcial y sucesiva por partes, donde se emplean las variantes de la tarjeta móvil o el de los ángulos paralácticos), poligonometría con medición solamente de ángulos a partir del segundo ciclo, triangulación, trilateración, ángulo-lineal, figuras geodésicas: intersección directa e inversa, cuadriláteros geodésicos, etc.

Las observaciones de las deformaciones deben ser de gran precisión, y exigen de tiempo y costos. Anteriormente se usaron los métodos clásicos, los cuales ahora en muchos casos pueden sustituirse por el Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S.), parcial o completamente. La precisión y fiabilidad de los resultados dependen mucho de la influencia de factores atmosféricos. También son importantes las estrategias de observación y procesamiento.

La aplicación del posicionamiento estático G.P.S. en un período prolongado para controlar las estructuras, puede dar precisiones en la posición relativa de pocos milímetros, que dependen del tiempo de observación y la distancia de la estación a la referencia. Las estaciones permanentes pueden ayudar a mantener el sistema de coordenadas de referencia consistente. Con el método Stop & Go se obtiene precisión mayor de ± 5 mm en los componentes horizontales, y mayor de ± 10 mm en el vertical, si la estación de referencia está cerca. (Švábenský O. y Weigel J., 2002).

Empleando la observación avanzada y los procedimientos de procesamiento, los resultados con G.P.S. tienen un nivel cualitativamente más alto, cerca de las exactitudes que se necesitan en los estudios de las deformaciones de estructuras. Esta técnica tiene ventajas perceptibles de mejor operatividad, menos demanda de tiempo y personal; incluso los productos del programa comercial ofrecen evaluación más perfeccionada de las observaciones. (Švábenský O. y Weigel J., 2004).

Algunos autores (Stathas D., et al, 2003) proponen nuevas técnicas de control en la determinación de deformaciones en las estructuras, consideran que la estación total constituye una herramienta poderosa en el control de la deformación estructural, si se cumplen condiciones como que la distancia máxima entre el instrumento y la estructura debe estar a menos de 100 m y la magnitud esperada de deformación más de ± 4 mm. Pero con el desarrollo de las ET de alta precisión, caracterizadas sus mediciones por un e. m. c. angular (horizontal y vertical) de $m_\beta \pm 1''$ y el e.m.c. de la distancia $m_s \pm 2 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$, ejemplo la ET Leica TPS 1800, se pueden obtener valores de deformaciones espaciales en el orden de los ± 2.0 mm para distancias de hasta 100 m.

- Las observaciones de control geodésico constituyen una herramienta para la interpretación física de la deformación, dando información sobre los cambios geométricos de la superficie del objeto investigado; además, se amplían en la explicación de las causas de una deformación inesperada, que, por consiguiente,

- Extensómetros

- Clinómetros

I.3 Modelación de las deformaciones en estructuras

Varios autores han investigado el tema de la modelación de las deformaciones. Estos estudios han sido generalizados en la metodología para el control de deformaciones, (GeoCuba, 2004) en este caso nos adscribimos a esta publicación por conferir mejor comprensión.

Por su carácter natural, las deformaciones de las obras de ingeniería presentan un comportamiento muy complejo, ya que se deben a numerosas causas que interactúan entre sí bajo distintas condiciones físicas. Muchas veces las secuencias de los fenómenos causales se ven perturbadas por otras que no guardan relación causal con el fenómeno resultante, se comprenderá que la observación clara de los dos axiomas causales postulados, no siempre es confirmada en la práctica.

Uno de los problemas que más inciden en este aspecto, es la limitación de observaciones y mediciones representativas de los fenómenos, por lo que el estudio de los procesos de asentamientos, desplazamientos y deslizamientos, así como el desarrollo de los métodos de pronósticos, se tienen que basar en datos insuficientes, que no reflejan la multiplicidad de factores y la irregularidad de los procesos que se desarrollan espacial y temporalmente.

A partir de la generalización por las investigaciones realizadas en la metodología la periodicidad de las mediciones para el control de deformaciones, (GeoCuba, 2004), estará determinado fundamentalmente por la velocidad de las deformaciones en los procesos de construcción y explotación de las obras.

En la aplicación del pronóstico es importante considerar la relación entre el intervalo de tiempo (Δt) entre los momentos del pronóstico y la ocurrencia real del fenómeno de deformación. Lo ideal es poder realizar con la mayor antelación posible un pronóstico con una precisión adecuada. En la medida que Δt es mayor, aumentan las probabilidades que ocurran fenómenos en ese espacio de tiempo que puedan alterar la predicción realizada. Cuando Δt se hace menor, hay mayores posibilidades de realizar un mejor pronóstico, pues los factores perturbadores inciertos tienen menor incidencia, desde el punto de vista estadístico, en el fenómeno o evento pronosticado. Llevando a que coincidan los momentos de pronóstico y ocurrencia del fenómeno, se logra la mayor precisión si se mide el evento con la suficiente exactitud, lo cual depende solamente del método de medición que se emplee.

Para la modelación de estructuras y el terreno se desarrollan nuevos procedimientos de análisis, diseño y diagnóstico, con el empleo de novedosos modelos constitutivos (estáticos y dinámicos) que describen el comportamiento de los diferentes materiales que conforman la edificación, estructura u obra de ingeniería y el terreno que la soporta, con respecto a su estado tenso-deformacional. Todo este análisis expone a la luz de la ciencia, que en la solución de los complejos problemas que enfrenta la Ingeniería Geotécnica y Estructural Moderna, para el estudio de las deformaciones (absolutas y relativas), un papel esencial estará asignado al método geodésico (multifacético e

integral) para la modelación terreno-estructura y calibrar los modelos existentes, (Milán G.C.A.,2008).

I.3.1 Modelos y terminologías para el análisis geodésico de las deformaciones

La tarea tradicional de las mediciones de la deformación, ha sido la investigación de los movimientos y desplazamientos de un objeto, con respecto al espacio y tiempo. Actualmente este análisis, procede a la descripción lógica del fenómeno de las deformaciones y qué las causó, es decir, para incorporar las fuerzas causantes y las propiedades físicas del cuerpo bajo la investigación. En su integridad, el cuerpo, las fuerzas actuantes y las deformaciones resultantes son consideradas un sistema dinámico. De este modo el análisis geodésico de las deformaciones está dirigido fundamentalmente a los procesos dinámicos, lo que implica, que la Ingeniería en Geodesia tiene que tener conocimientos, hasta un cierto grado, de la dinámica de los procesos en que está involucrado el objeto monitoreado. Por consiguiente, los modelos más generales y comprensivos son los dinámicos, que por la simplificación, se derivan en: estáticos, cinemáticos y de congruencia. En muchas aplicaciones prácticas, la representación gráfica y numérica del registro de las mediciones geodésicas, sin otro modelo adicional, se considera suficiente. El aspecto económico de la vigilancia, con respecto al riesgo potencial y peligro es esencial, generalmente se evitan gastos excesivos, y normalmente, se piden soluciones individuales con los modelos apropiados. La importancia de los trabajos lo determina, ante todo, la necesidad de proveer el control continuo y efectivo de la estabilidad de los objetos industriales, mientras las dificultades básicas están asociadas a la necesidad de incluir el factor tiempo en la planificación de los ciclos de investigación e interpretación de los resultados. (Walter M. Welsch, Otto Heunecke 2003).

En los últimos años, el Grupo de Investigación de Geodesia Ingeniera y Minas de la Universidad de New Brunswick, ha desarrollado un método generalizado de análisis geométrico de la medición de deformaciones y un software potente, el FEMMA, para la modelación elástica y visco-elástica por los elementos finitos para relacionar las cargas

- deformaciones. El método permite realizar el análisis integrado simultáneo de las deformaciones geodésicas y geotécnicas, mostrándolas en espacio y tiempo.

Las investigaciones realizadas por Temel Bayrak, et al (2003), describen la teoría y procedimientos del programa KINDEF, en Fortrán, que usa las técnicas de Filtros Kalman en los análisis cinemáticos de la deformación por métodos geodésicos, utilizando mediciones GPS, realiza el análisis estadístico del comportamiento de las deformaciones, su velocidad y aceleración, mostrando los resultados en 3 Dimensiones.

Para la supervisión y análisis de deformaciones en diques, estructuras, pendientes, minería abierta, los investigadores Chrzanowski A. & Co., 2002, proponen el programa ALERT, que es un sistema geodésico totalmente automatizado. Basado en la técnica de elementos finitos, Geoslope Internacional Ltd. , Canadá 2002, proponen el programa SIGMA/W, se ejecuta en ambiente de Windows; puede usarse para los análisis tenso-deformacional y deformaciones causadas por los trabajos terrestres; como las fundaciones, terraplenes, excavaciones y túneles.

Otros autores (Nagwa El-Ashmawy, 2007; Lui V., 2007) proponen técnicas semi-automáticas para la generación de modelos en 3 dimensiones, en la vigilancia de obras ingenieras, que se desarrollan con éxito en muchos países.

En GEOCUBA Villa Clara se diseñaron los módulos SAITA (asentamientos y desplazamientos), que es una aplicación Windows, usado para el procesamiento del control de los asentamientos en presas.

En nuestro país se monitorean las deformaciones por métodos tradicionales, debido a las limitaciones de no poseer las tecnologías necesarias, encausando los estudios al problema convencional o tradicional, que sólo considera la geometría del objeto y su comportamiento espacio-temporal, lo cual no está en correspondencia con los adelantos científico - técnicos en la temática del estudio de las deformaciones, que se realizan de forma permanente y automatizada, a partir de los modelos dinámicos, con la exposición de los resultados a través de un SIED. No se ha desarrollado una metodología general de modelación del estado tenso-deformacional de un material, en

un punto que permita realizar indistintamente y de forma multidisciplinaria, el análisis para la interpretación física de las deformaciones (Milán G.C.A.,2008).

En la literatura consultada (Bojarowski K., 2006; Acosta L, 2007), se hace gran énfasis en los análisis multidisciplinarios de las geociencias en la vigilancia, como soporte principal de la seguridad operacional en las construcciones, *en las cuales se incluyen los últimos trabajos sobre esta temática. Nosotros nos adscribimos a la clasificación de (Bojarowski K., 2006), considerando que es una de las más aceptadas en la actualidad, donde propone un procedimiento para el procesamiento de las deformaciones verticales, usando la herramienta de un Sistema de Información Espacial de Deformaciones, basada en el análisis estadístico y espacial de los desplazamientos, con modelos gráficos, que permiten completar la evaluación de la posición relativa que tuvo el objeto, en este caso no se valoran los desplazamientos horizontales.*

I.3.2 Interacción del terreno- estructura

Las obras estructurales al apoyarse sobre el terreno, forman con éste una unidad orgánica, donde ambos elementos interactúan entre sí,(Figura 4). Esto implica que el análisis, diseño y comportamiento de las obras de ingeniería en general, dependan no sólo de las solicitaciones que surgen producto a acciones de agentes externos o internos que actúan sobre ellas, además del uso para las que fueron preconcebidas las mismas, sino que lo hacen también, en buena medida, de la respuesta conjunta del sistema estructura-terreno y de la forma en que éste último material se deforma, durante la transmisión de las cargas al medio. (Quevedo G., 2002).

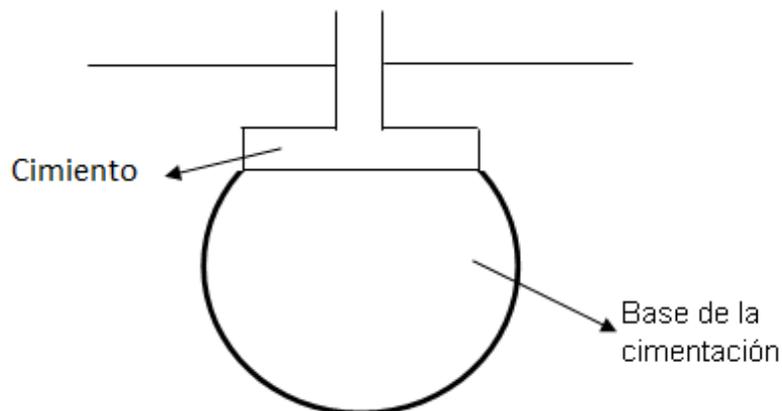


Figura 4. Esquema de cimiento y base de la cimentación. Quevedo (2002).

Según Acosta González L., 2007, las mediciones geodésicas son las técnicas experimentales más representativas para obtener las curvas del comportamiento del suelo en los dominios geométrico y del tiempo, permitiendo obtener una mayor precisión en los datos, así como la posibilidad de la distribución racional de los errores mediante el ajuste por mínimos cuadrados, lo que permite obtener el modelo óptimo (ajustado) que mejor describe el comportamiento del material, así como los parámetros geotécnicos y estructurales que lo caracterizan.

Para el monitoreo de la interacción terreno-estructura, que cumplan con los requerimientos actuales, se hace necesario desarrollar una nueva concepción para enfrentar el proceso de modelación del terreno y los materiales que conforman la estructura, las cuales tengan un enfoque más abarcador y universal, que permita describir el comportamiento real del estado tenso-deformacional en un punto en el dominio del tiempo; con los modelos que mejor describan el comportamiento físico de los mismos; que sin duda se logran a través de un sistema geodésico con su respectiva fundamentación económica.

I.3.3 Análisis tradicional o convencional de las deformaciones

La vigilancia de un objeto involucra el proceso de deformación y el de modelado. Convencionalmente, la modelación geodésica del objeto y su entorno, significa analizar la continuidad por puntos discretos, de manera que estos caractericen el mismo, y que los movimientos de los puntos, representen los movimientos y distorsiones del objeto, es decir, que solamente se modela la geometría del objeto. Además, la observación de los puntos característicos en ciertos intervalos de tiempo, se realiza para monitorear adecuadamente el curso temporal de los movimientos, modelando sólo el aspecto temporal de los procesos. Este tipo de modelación y monitoreo de la deformación de un objeto en el espacio y tiempo, ha sido el procedimiento geodésico tradicional.

Para el análisis en espacio y tiempo, hay en principio dos clases de modelos: los de congruencia y cinemáticos. (Walter M. Welsch, Otto Heunecke 2003).

I.3.3.1 Sistemas dinámicos y análisis avanzado de las deformaciones

Los modelos de la evaluación avanzados para el análisis de la deformación, no sólo consideran el cambio de la geometría de un objeto en el espacio y tiempo; también se investigan e incorporan los factores influyentes: fuerzas causantes, cargas internas y externas; que causan la deformación. Consideran además las propiedades físicas del objeto: las constantes materiales, los coeficientes de la extensión, etc. qué es característico y responsable para la respuesta del objeto a las fuerzas actuantes. Los tres elementos: fuerzas actuantes, como señal de entrada, transmisión a través del objeto, como el proceso de transferencia, y la respuesta del objeto como la señal de salida, forman una cadena causal, o según la terminología de teoría del sistema, un proceso o sistema dinámico, Figura 5. (Walter M. Welsch, Otto Heunecke, 2003).

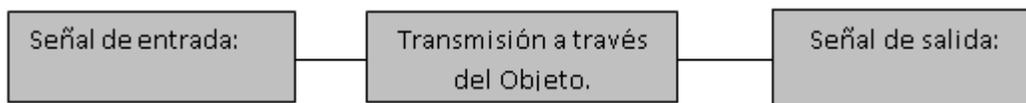


Figura 5. La deformación como un elemento de un sistema dinámico

En años recientes, las ciencias de la Ingeniería han establecido una descripción matemática normalizada del comportamiento temporal de sistemas dinámicos, en correspondencia con la teoría del sistema, caracterizados por las siguientes variantes:

1. Sistemas dinámicos (causa-respuesta)
2. Sistemas autónomos (libres), no están sujetos a las fuerzas actuantes.

En la actualidad tienen que ser explotadas las herramientas y potencialidades para analizar los sistemas dinámicos por todas las posibilidades, utilizando los métodos y modelos apropiados que conducen a las técnicas del análisis y modelos integrados altamente sofisticados, considerando que los objetos y estructuras de la ingeniería o sus partes, están sometidos a las resultantes de los desplazamientos por numerosos factores internos y externos. La determinación de la magnitud de estas deformaciones es posible, sobre la base de ciclos de mediciones de los cambios de la posición de los puntos, determinando la relación geométrica en el objeto estudiado. El procesamiento

del resultado de las mediciones, está dirigido a la determinación de las características de estos cambios y la evaluación de los posibles peligros.

I.3.3.2 Análisis Espacial de las deformaciones

En la investigación realizada según Milán G.C.A.,2008, los programas orientados a SIG deben tener cinco funcionalidades básicas y son los mismos a utilizar en el SIED.

1. Entrada y verificación de datos.
2. Almacenamiento y manejo de bases de datos.
3. Salidas y presentación.
4. Transformación de datos.
5. Interacción con el usuario.

Entre los programas que cumplen con los requisitos antes planteados tenemos:

Arc/Explorer V1.0: Como visor e integrador de diferentes resultados obtenidos con otros programas. Con este programa se puede realizar un conjunto de operaciones analíticas.

Arc/View V3.2: Para generar información a partir de modelación del terreno, análisis espacial y de redes.

AutoCAD Map 2000: Para la captación de la información y creación de topología de los objetos.

ER-Mapper V6.1 y ENVI V3.4: Para el procesamiento digital de imágenes.

Mapinfo V7.5: En la captación y organización de los datos, así como para generar información a partir de análisis espacial y temático.

Microsoft Access: Como soporte para el manejo de las Bases de Datos de atributos.

Para la implementación del sistema de información fueron utilizados los programas: AutoCAD Map 2004, y como plataforma fundamental del sistema el MapInfo Profesional versión 7.5 en español.

En el 2011 lanzan Tekla BIMsight, que es una aplicación de software de colaboración en proyectos de construcción basado en BIM. Puede importar modelos de otras aplicaciones BIM utilizando el formato IFC,(Gomez F. I.,2013).Teniendo en cuenta los modelos y tecnologías actuales para el estudio de las deformaciones en las estructuras, el cual es una tarea multidisciplinaria, donde las tendencias actuales apuntan a la aplicación del software Tekla BIMsight como herramienta para el manejo de los resultados; el software de colaboración de construcción puede cumplir con las funcionalidades básicas del SIG combinando modelos, comprobar los choques y compartir información utilizando el mismo entorno BIM, permite a los participantes del proyecto identificar y resolver problemas ya en la fase de diseño antes de la construcción. El galardonado Tekla BIMsight es gratuito para descargar. Más de 160 000 profesionales de la industria de la construcción ya lo han utilizado en más de 160 países, limpio e intuitivo y rápido.

El Building Information Modeling (BIM) como datos (Modelo de información de construcción) es la geometría tres dimensiones (3D) y la gran cantidad de datos asociados que representan el diseño, la construcción y la información de administración de instalaciones necesarias. Estos datos se generan a partir de una amplia variedad de herramientas digitales que abordan diferentes necesidades, capacidades y responsabilidades de muchas partes involucradas en el proceso. Todos los datos del proyecto se pueden representar mediante un unico modelo o una federacion de varios modelos de dominio,con datos que se puedan intercambiar en su totalidad o en parte con otras involucradas en cualquier momento del proceso de BIM(Candusso R.,2013).

Según el Arquitecto Miller H.,2012, el concepto BIM involucra a tecnologías, procesos, sistemas administrativos de documentos, actores técnicos, actores no técnicos, etc., reunidos bajo un mismo concepto y “mirando” el mismo modelo de datos, en donde todos pueden participar en forma simultánea, tomar decisiones y visualizar

dinámicamente el modelo real en forma sincrónica y concurrente. El concepto BIM involucra diferentes softwares como AutoCAD, Design Review, Navisworks, Ecotect, Inventor, Tekla, y Revit, Allplan, Archicad, CA-TIA, solo por nombrar algunos; y cabe notar que no estamos dejando fuera a los sistemas CAD, sino que éstos se integran como una más de las perlas que componen el BIM. Por supuesto que hay un disparador de todo este proceso, y este disparador se llama Revit; Revit (que de alguna manera representa al apócope de revisión inmediata) es un software de “diseño” que tuvo su desarrollo hacia finales de los 90 en USA y que Autodesk compra a la compañía texana Revit Technology Corporation por 133 millones de dólares en 2002. Como siempre, más vale una imagen que mil palabras.

Aunque el trabajo en BIM no altera fundamentalmente la labor de cada disciplina de la construcción, si establece una nueva forma de comunicar la información al resto de los agentes. Además, ante el volumen de información a recibir, es imperativo de que esta información sea integrable (en formato adecuado), e interoperable (que tenga la capacidad de usarse entre diversas disciplinas de la construcción). En el desarrollo de un proyecto BIM, se establecen ciertos hitos o etapas de proyecto en las cuales se reúne información para definir el proyecto. Con cada etapa, el proyecto va adquiriendo mayor exactitud y forma hasta llegar a una representación virtual de la obra construida. Estas etapas se denominan como Niveles de Desarrollo o Levels of Development (LOD) en Estados Unidos y Data Drops en Inglaterra. Se puede decir que el Nivel de Desarrollo determina la madurez del proyecto.

El poder desarrollar un proyecto en BIM ofrece cuatro grandes ventajas:

Primera: Interoperabilidad. BIM Integra las diferentes disciplinas de la industria de la construcción y permite recopilar e integrar información al proyecto desde diversas fuentes de forma muy eficaz.

Segunda: Re-organización. BIM elimina la necesidad de tener un esquema piramidal de secuencia de trabajo. Al contar con estándares y una definición de roles y

responsabilidades de los agentes, existe una versatilidad en la organización de las tareas en el desarrollo del proyecto.

Tercera: Comunicación. Con la capacidad de poder transmitir información gráfica y no-gráfica de una manera eficaz y fiel, BIM permite una mejor visualización de un proyecto en distintos niveles: Gráfico, Cuantitativo, Constructivo, Logístico.

Cuarta: Garantía. Al ir incluyendo y refinando información en un proyecto BIM, se crea una secuencia de proyecto donde se puede conocer el historial de decisiones y datos de materiales y servicios con la conformidad legal adecuada. En conjunto, el desarrollo de un proyecto BIM ofrece una garantía al cliente, a las administraciones, y a la industria, al producir una construcción tal y como ha sido elaborada en el entorno BIM.

Estas ventajas generan una mayor coordinación entre los profesionales de la industria, y promueven una mayor capacidad de análisis y definición del proyecto para: poder eliminar los “errores” de proyecto encontrados en obra, configurar la estructura y materiales del proyecto para una mayor eficiencia energética, optimizar cantidades y procesos logísticos para reducir costes de construcción y mantenimiento a la vez de aumentar el rendimiento del edificio (Bernal C., 2016).

En Rio de Janeiro Tekla BIMsight se utiliza para:

- Control de conflictos entre todos los modelos para minimizar los deberes de construcción inesperados y asegurar el rendimiento del sistema
- Comunicando nuevas necesidades, tales como especificaciones de fabricación de acero, haciendo anotaciones y marcas
- Destacando partes críticas con vistas guardadas.

El principal beneficio es la facilidad para manejar Tekla BIMsight. Es fácil abrir la IFC y administrar la información para mostrar lo que quieres. La coordinación BIM le da al equipo del proyecto la posibilidad de tomar decisiones en una etapa temprana y así obtener una mejor solución. Fue utilizado durante el proyecto de IN Prediais para

visualizar fácilmente detalles complejos para una mejor comprensión y una comunicación más rápida (Farina H.,2016).

Según el Gerente de POSCO E & C Roh H.,2016, esta herramienta sencilla de software a garantizado un trabajo rápido y diseño sin errores en un proyecto enorme, la función de notas del software ayuda a las partes interesadas a entenderse sin problemas y tomar una decisión rápida. Con este proceso se puede controlar fácilmente la historia de trabajo, al permitir un manejo de toda la información gestionada del proyecto de manera rápida se tiene la ventaja de ahorrar cantidad de tiempo, detectando detalles que con otros softwares no ha sido posible. Teniendo presente su usabilidad posibilita el uso de esta herramienta por todo el equipo multidisciplinario. La herramienta facilita la visualización en 3D lo que mejora el entendimiento de detalles complejos, el software es considerablemente ligero en comparación con otras herramientas dando así la posibilidad de abrir los modelos rápidamente, mejorando continuamente la comunicación y colaboración.

Tekla BIMsight permite revisar todos los modelos reunidos, y pasar por detalles de diseño para evitar enfrentamientos y maximizar la facilidad de mantenimiento. Con todo el mundo usando esta herramienta, la actualización de los modelos para todo el mundo podría hacerse de forma automática, en lugar de subir modelos actualizados a un servidor, luego distribuir la ubicación a todas las partes, todo el mundo descarga el modelo y luego abrirlo en su software. También porque utiliza IFC, no hay necesidad de convertir archivos en diferentes formatos. Una ventaja clara del uso de Tekla BIMsight es que, visualizando el modelo en 3D nos podemos familiarizar de una mejor manera con el elemento a analizar no así en la 2D (Qi H.,2016).

I.4 Conclusiones parciales

Después de haber realizado una valoración crítica de los estudios de la deformación, se ha llegado a conclusiones que ilustran la necesidad y validez científica de la investigación que se pretende realizar.

1. El análisis integrado de las deformaciones en las estructuras es una tarea multidisciplinaria (Geodesia, Geotecnia e Ingeniería Civil) donde las tendencias actuales se apoyan en el mapa digital para exponer los resultados, utilizando como herramienta un Sistema de Información Espacial de Deformaciones (SIED) con software Tekla BIMsight.

2. En nuestro país se monitorean la deformaciones por métodos tradicionales debido a las limitaciones de no poseer las tecnologías necesarias, encausando los estudios al problema convencional o tradicional, que sólo considera la geometría del objeto y su comportamiento espacio-temporal, lo cual no está en correspondencia con los adelantos científico técnicos en la temática del estudio de las deformaciones, que se realizan de forma permanente y automatizada a partir de los modelos dinámicos, con la exposición de los resultados a través del Tekla BIMsight.

CAPÍTULO - II PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN ESPACIAL DE DEFORMACION ESTRUCTURAL CON SOFTWARE TEKLA BIMSIGHT

El estudio se fundamenta en la utilización de un conjunto de métodos, procedimientos y técnicas de investigación geográfica, dirigidos al estudio de las deformaciones estructurales.

Para realizar los trabajos se emplea el esquema tecnológico del procedimiento general que aparece en la Figura 6. Esta salida del resultado se denomina Sistema de Información Espacial y está en correspondencia con lo establecido por Bojarowski K., 2006 y USACE, 2002, tiene como propósito el análisis integrado y sistémico de la información a identificar, evaluar y dar respuesta a las necesidades que demanda el Cliente, empleando el software de Tekla BIMSight. En el presente estudio, se tienen en cuenta y se analizan las deformaciones verticales y horizontales.



Figura 6. Esquema general del procedimiento para el SIED.

II.1 Definición del fenómeno

La definición del fenómeno se refiere a determinar el posicionamiento espacial de los objetos seleccionados para el estudio, el tipo de estructura y sus atributos, así como los métodos de registro y análisis, con el objetivo de proveer el control continuo y efectivo de la estabilidad, incluyendo el factor tiempo en la planificación de los ciclos de investigación e interpretación de los resultados.

II.1.1 Determinación de los rasgos característicos y métodos de medición

Paralelamente a las observaciones geodésicas, se toman los valores de los parámetros que inciden en la deformación del objeto, como son: temperatura del ambiente, nivel hidrostático, características del suelo y cargas.

Para determinar la posición de los puntos, coordenadas (X, Y, Z) se combinaron los métodos de nivelación, triangulación, intersección y alineación.

II.1.1.1 Selección del sistema de referencia

El sistema de referencia está construido en el área no deformable de la obra, alejado de la influencia de las fuerzas que provocan las deformaciones. Estos monumentos fueron confeccionados de hormigón armado, su base yace sobre un suelo firme, roca. Se garantizó su solidez y estabilidad para que perdure inmóvil durante el tiempo de los estudios. El mismo se construyó mediante tres puntos ubicados en los vértices de un triángulo equilátero de lados 25-30 metros, que se denomina ramillete.

Los monumentos del sistema de referencia de los desplazamientos horizontales se construyeron mediante cuadriláteros; También ellos cumplen la condición de inmovilidad y su ubicación en el objeto de obra bajo estudio depende del método de determinación del desplazamiento, construidos en una alineación en la zona no deformable.

Los puntos de control se ubicaron directamente en aquellos lugares propensos a deformaciones, éstos están contruidos de hormigón o metálicos, en ambos casos, garantizan ser ligeros y a la vez duraderos para evitar su destrucción. Si durante la ejecución de los sucesivos ciclos de observación, al transcurrir el tiempo, alguno de los monumentos se destruye o pierde su calidad es necesario construirlo nuevamente o reconstruirlo y reorganizar el esquema de mediciones, (Metodología de deformaciones, GeoCuba, 2004).

II.1.1.2 Colección de datos

Consiste en recopilar, preparar y evaluar el estado y completamiento de la información resultante de trabajos realizados con anterioridad, que den respuesta a nuestras necesidades y sirvan de fuente de entrada de datos al sistema; aparecen en forma cartográfica, estadística y bibliográfica, contenido en informes, imágenes aéreas y espaciales, bases de datos y mapas.

Teniendo en cuenta los requisitos que deben cumplir los datos que se introducen en los SIG, se clasificó como información principal para implementar el sistema la siguiente:

- Imágenes satelitales adquiridas desde Google
- Levantamiento del área de estudio a escala 1: 500
- Informes y bases de datos de trabajos anteriores ejecutados en el área de estudio.
- Fotos de lugares característicos y representativos del área.

Toda esa información principal adjuntarla al software dando primeramente un clic en el examinador de documentos(Documentos), luego dar clic en añadir archivos y se abrirá un portal donde se buscará la información dicha y será adjuntada según su formato, ya que la herramienta garantiza esa ventaja, los informes, bases de datos, fotos de lugares característicos, imágenes satelitales y todos los ficheros en el software Tekla BIMsight para así acceder a ellos de manera más rápida.

II.2 Características de los registros

Los resultados de estas investigaciones, una vez recopilada, necesitaron de una preparación y evaluación a fin de extraer de forma clara y confiable los datos de interés, y por otra parte, detectar los vacíos de información. Para ello el dato debe asegurar que cumpla los requisitos siguientes:

- Ser utilizable y dar respuesta a los objetivos planteados con el diseño del proyecto SIE;
- Garantizar las exigencias requeridas de precisión y de calidad;
- Ser lo más actualizado posible;
- Evitar redundancia en cuanto a la información de otros datos correlacionados;
- Definir el grado de detalle del contenido con que deben tomarse los datos.

La etapa de inventario consiste en la recolección de los datos espaciales y no espaciales, que se introducen en el SIE; la misma tiene como objetivo actualizar y llenar los posibles vacíos de información detectados en la etapa de recopilación, preparación y evaluación existente. La recolección de datos, según Batista R. S, 2002, es la etapa más costosa y de gran significado, ya que su cumplimiento y actualización sustentan las etapas restantes. En caso de falta algún detalle utilizar el marcador del software BIM, el cual se encuentra en la barra de herramienta marcar y registrarlo a través de una nota en el colaborador de construcción.

II.2.1 Estudio geodésico para el monitoreo de las deformaciones

El estudio ingeniero-geodésico brinda una información inmediata, objetiva y veraz en el orden absoluto y relativo de las deformaciones que ocurren en las construcciones; para llevarlo a cabo se procede como se hizo referencia en el capítulo 1. Esta es una etapa muy importante para resolver la tarea, se realiza el reconocimiento del área, con el objetivo de definir el lugar de ubicación de los puntos de referencia, que constituyen la

base y fiabilidad del estudio, los mismos están fuera del área de acción de la carga sobre el suelo, vibraciones y cualquier otra variable que incida en la dinámica de la estructura, cimentados sobre un estrato resistente.

Los puntos de control o marcas se situaron, de forma tal, que por los resultados de las observaciones se puede valorar la deformación del objeto de obra (asentamiento, desplazamiento horizontal, inclinación, etc.) en su base. Se colocaron directamente en el cuerpo de los elementos estructurales (cimientos, losas, vigas), distribuidos donde existen cambios bruscos de la carga, ellos representan los puntos más deformables y críticos. Los lugares escogidos para su ubicación prestan comodidad para la colocación del instrumental necesario durante las mediciones (miras y prismas) y el trabajo a su alrededor y que su configuración como red, satisfaga las exigencias técnicas en cuanto al ajuste por mínimos cuadrados y el error medio cuadrático del método.

Los desplazamientos del objeto analizado, según USACE, 2002, se determinaron por las diferencias de coordenadas entre dos ciclos, tomando siempre como base el ciclo inicial o ciclo cero, aunque se pueden establecer comparaciones entre ciclos contiguos. Las observaciones de los desplazamientos cumplen las siguientes condiciones:

1. Exactitud, donde el error de determinación (e) de las coordenadas debe ser menor o igual a un cuarto de la Deformación Total máxima esperada ($e \leq 1/4 Dt$). En los estudios de la deformación es aceptado calcular el valor del error de determinación por:

$$e = 1.96\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_f^2} \quad (1)$$

Donde:

σ_i : Incertidumbre en el posicionamiento en el ciclo inicial.

σ_f : Incertidumbre en el posicionamiento en el ciclo final.

2. La periodicidad de las observaciones está en función de las velocidades de las deformaciones, se consideró \geq de 3 meses.
3. Se considera movimiento o Desplazamiento Total (Dt), aquel que sea mayor que el error de determinación ($Dt > e$)

$$Dt = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2 + \Delta z_i^2} \quad (2)$$

Las exigencias en la obtención de los resultados de los desplazamientos es determinante para juzgar el tipo de deformación y para aplicar las metodologías de observación y cálculo apropiadas, además en la práctica y perfeccionamiento de las normativas establecidas.

II.2.1.1 Atributos

La base de datos de atributos almacena y trata toda la información no gráfica mediante la Gestión de Bases de Datos, usualmente del tipo relacional. La unión entre éstas y las de tipo espacial se realiza a través del Tekla BIMsight para cada objeto.

Entidades: Elementos que son relevantes para la base de datos a preparar (parcelas, calles, perfiles de suelo, etc.). Mostrando un mejor panorama al equipo multidisciplinario presentándole dichos datos en un entorno BIM con facilidades de acceso y entendimiento, estableciendo a través del entorno la ventaja de la re-organización que es la definición de los roles y responsabilidades de las diversas disciplinas en la construcción.

Atributos: Características o variables asociadas a cada entidad (tipo, material, etc.). Aportando formas nuevas de comunicación entre diferentes actores de la construcción facilitando una mejor comprensión de la información a manejar, accediendo a las ventajas de la herramienta BIM se puede realizar entrega más rápida de estos atributos posibilitando mejores propuestas.

Dominio: Valores posibles de cada atributo (en el caso de variedad sería el listado de las variedades). Donde a través de las bondades del software se puede conocer el historial de las variedades realizadas y transmitirlos por la función de notas de la herramienta grafica

Relaciones: Mecanismos que permiten relacionar una disciplina de la construcción con otras (incluido en, utiliza a, es situado en, etc.). Por medio de la interoperabilidad que posibilita la capacidad de usar información entre diversas disciplinas de la construcción operando en las mismas sean graficas o no, impidiendo doble trabajo. Garantizando la obtención de coordinar la información continuamente acorde con los requerimientos del cliente.

Estos cuatro elementos permiten organizar en una base de datos el mundo real que se está estudiando.

La entrada de la información será adjuntándola en el software Tekla BIMsight en formato *.xls donde se crean puntos, relacionando la columna de las coordenadas. Ver Figura 7.

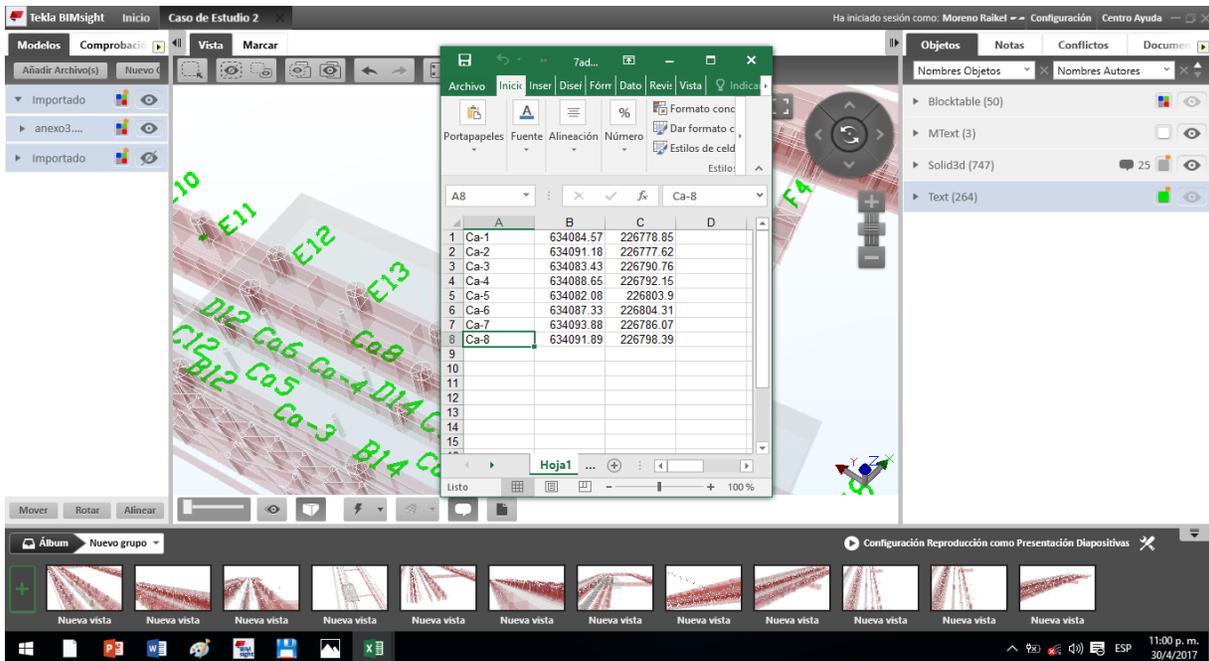


Figura 7. Relación de los datos espaciales y no gráficos en Tekla BIMsight.

II.2.1.2 Cálculos estadísticos

Los métodos para determinar los desplazamientos en 3 dimensiones, en la actualidad son muy usados, ellos permiten conocer los cambios de posición del objeto en cuestión, expresados por tres componentes vectoriales de desplazamiento en un sistema de referencia fijo y un determinado lapso de tiempo, el cuál luego sirve para el análisis de las deformaciones, así como la representación gráfica.

La información incluida en el Tekla BIMsight la base de datos descriptiva está sujeta a análisis estadístico, figura 8, los cuales, conjuntamente con los parámetros y especificaciones de los datos espaciales contenidos en las diferentes capas del mapa digital (estructuras, suelo, deformaciones) conducen al desenvolvimiento del perfil espacial de la distribución de los datos (ver figuras 9 y 10), registrados en los indicadores estáticos y dinámicos. Al mismo tiempo la información permite la valoración y proyección de las deformaciones en el objeto. Ver anexos 1 y 2.

ID	Pto	X_C1	Y_C1	Z_C1	T_1	X_C2	Y_C2	Z_C2	T_2
1	P1	634,183.468	226,574.751	9.400	28/01/2007	634,183.468	226,574.751	9.395	24/06/2007
2	P2	634,122.946	226,949.645	9.997	28/01/2007	634,122.960	226,949.677	10.002	24/06/2007
3	P3	634,106.457	226,551.647	9.224	28/01/2007	634,106.469	226,551.621	9.230	24/06/2007
4	P4	634,042.439	226,944.662	9.007	28/01/2007	634,042.430	226,944.667	0.000	24/06/2007
5	P5	634,166.804	226,677.966	8.904	28/01/2007	634,166.788	226,677.976	8.904	24/06/2007
6	P6	634,138.237	226,855.041	9.443	28/01/2007	634,138.193	226,855.039	9.435	24/06/2007

Figura 8. Base de datos de la capa deformaciones.

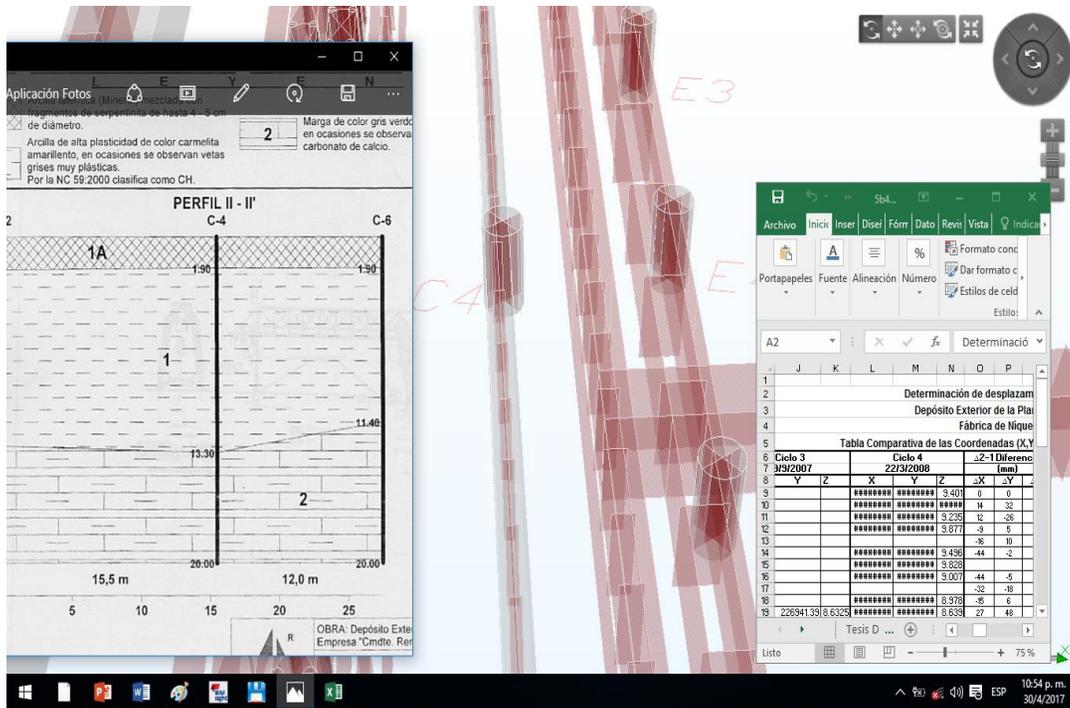


Figura 9. Parámetros y especificaciones (suelo y estructura) en valoración.

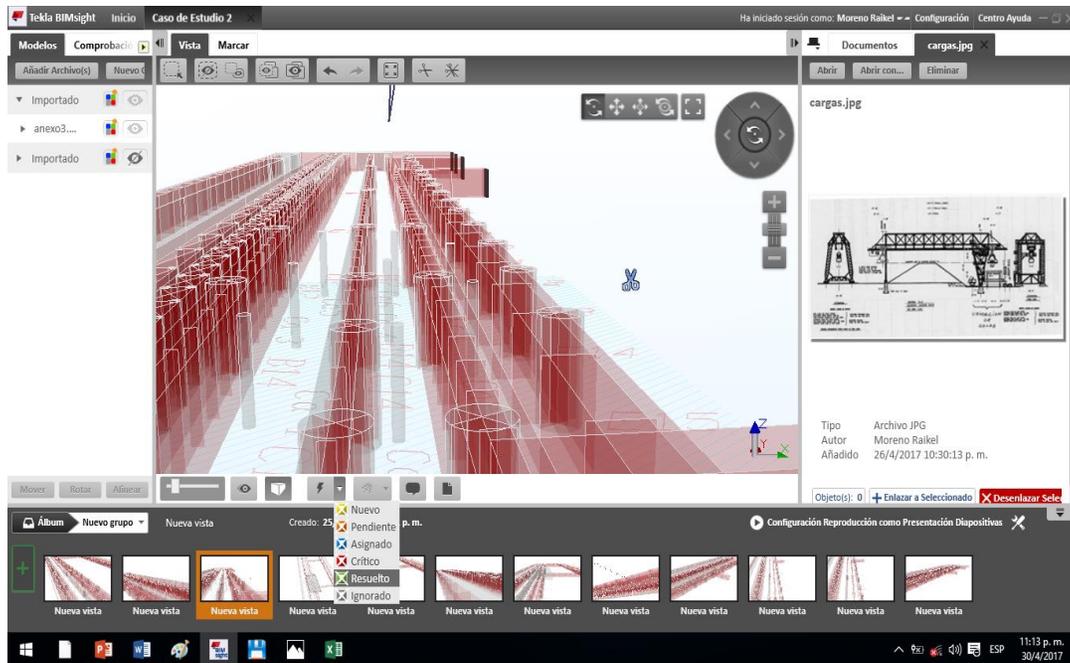


Figura 10. Análisis de la deformación y cargas móviles.

Con la utilización de los métodos determinísticos, principalmente por Elementos Finitos, se calculan las deformaciones esperadas, lo cual tiene lugar en la etapa de diseño.

Al hacer el monitoreo geodésico, con tres o más ciclos, es posible modelar, a través del AutoCAD y luego archivarlo en Tekla BIMsight para visualizar de manera detallada, intuitiva y rápida el comportamiento de las deformaciones. Utilizando el método estadístico o empírico podemos extrapolar estas funciones en el tiempo, predecir el valor de la deformación y establecer los componentes necesarios.

II.2.2 Mapa digital

Partiendo de la información gráfica recopilada, preparada y evaluada, la presente etapa comprende los siguientes procesos de trabajo:

a) Georreferenciación de imágenes

La georreferenciación de imágenes se puede realizar con la ayuda de los programas: AutoCAD y Tekla BIMsight.

b) Conversión vectorial digital de información

En el presente estudio se trabaja con la cartografía digital fuente existente, a escala 1:500, ésta requirió de un procesamiento en AutoCAD, figura 11, para darle el tratamiento de los objetos orientados a un SIG.

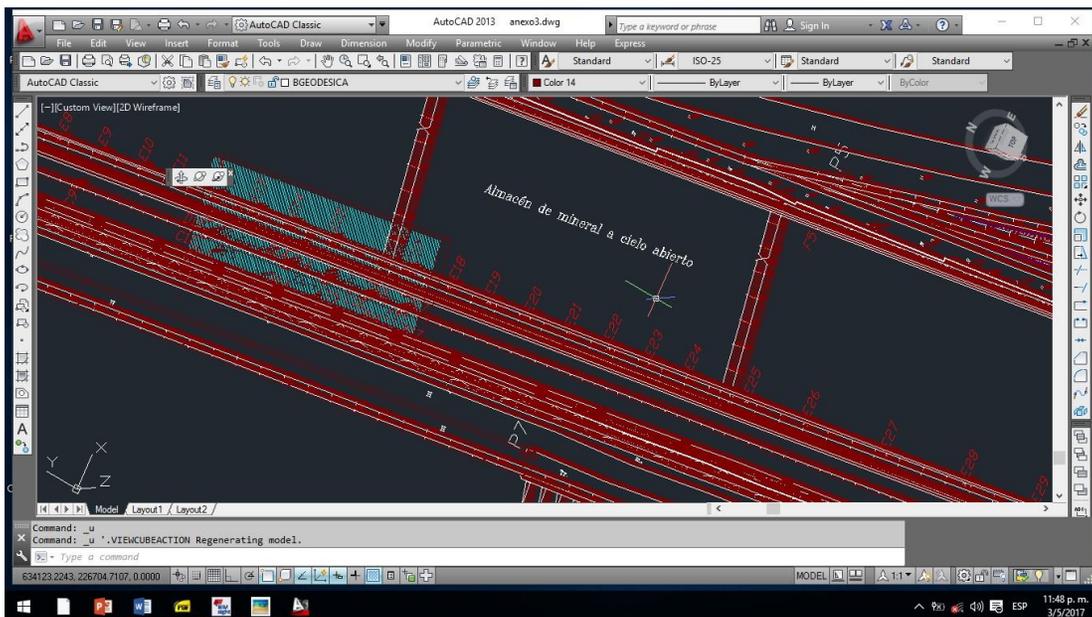


Figura 11. Depósitos de Mineral dibujado con herramienta CAD en 3D.

La información fue almacenada en capas temáticas, que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Información de la base cartográfica digital preparada para el SIE, en AutoCAD

Capas	Color	Contenido
Alcantarilla	Negro	Alcantarillas ubicadas en el área
Calle	Negro	Calles
Construcciones	Rojo	Construcciones aledañas al área
Estacada	Negro	Bases de las tuberías y rieles
Línea Férrea	Negro	Línea férrea que bordea el lugar
Postes	Negro	Postes del tendido eléctrico
Registros	Negro	Registros eléctricos, de alcantarillado y otros
Textos	Negro	Todos los textos
Tope de grúa	Negro	Tope de las grúas indias
Transportador	Negro	Transportador de mineral
Zanja	Azul	Zanja

II.2.2.1 Análisis espacial

La fase de análisis comprende las etapas de definición de los criterios de decisión y de análisis (aplicación de operadores).

Las operaciones de extracción de información del SIED se utilizan para extraer objetos espaciales de la base de datos, así posibilitando el manejo de los mismos intuitivamente. Con el análisis en Tekla BIMsight realizaran un recorrido en tres dimensiones por los muros de contención del Depósito de Mineral, detectando choques automáticamente. Teniendo toda la información a la mano ya que el software permite adjuntar (documentos, fotos, PDF, Excel) e introducir archivos de cualquier software BIM, no permitiendo solo una mejor visualización del elemento estructural sino un mejor manejo con toda esa gama de datos y datos espaciales.

Temática: Responde a preguntas del siguiente tipo: ¿En qué lugares existe?, etc., un atributo temático concreto. Ver figura 12.

Espacial: Responde a preguntas como las siguientes: ¿Qué existe?, ¿Qué valor adopta una variable temática?, etc., en una localización dada.

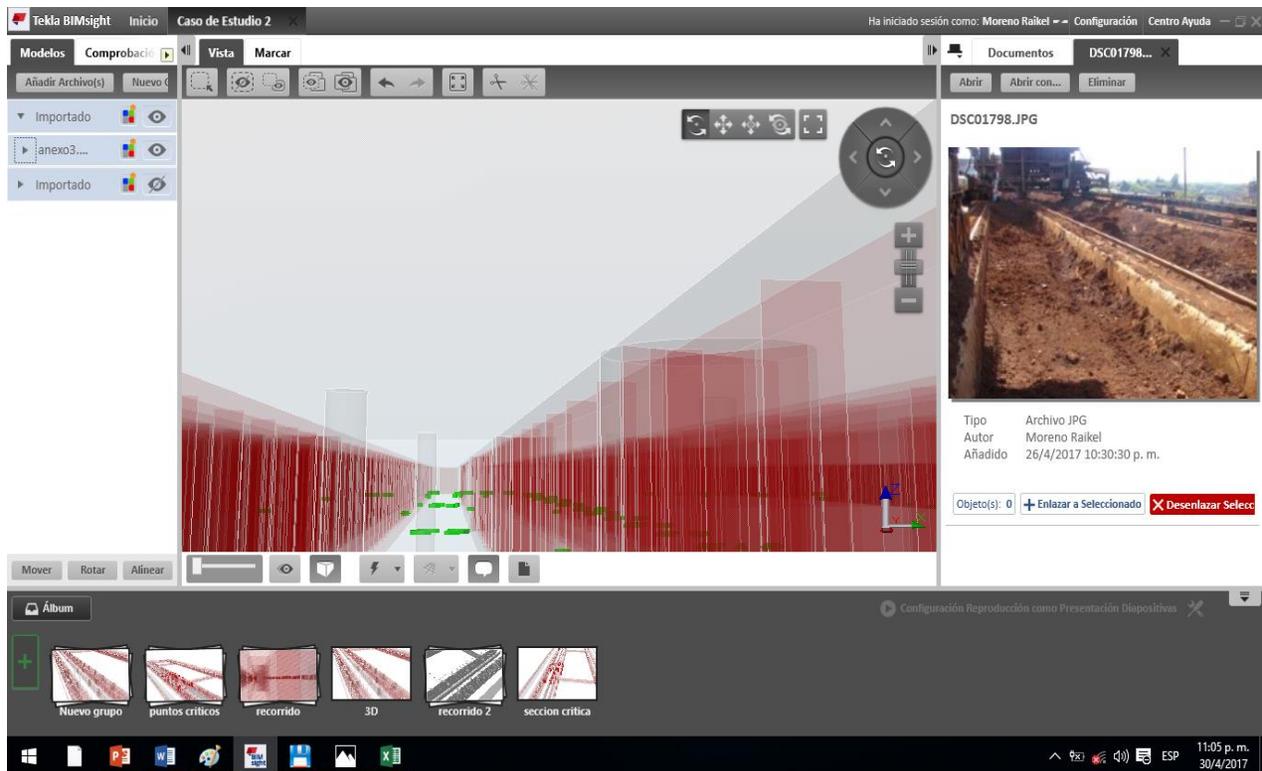


Figura 12. Búsqueda para la toma de decisiones.

II.3 Principales resultados obtenidos

El objeto de estudio está ubicado en la zona níquelífera del Norte de la Provincia Holguín, en la fábrica “Ernesto Che Guevara” de Moa, figura 13, donde se han producido significativas deformaciones (asentamientos y desplazamientos horizontales), por la acción de las cargas dinámicas que soportan las vías, provocando agrietamientos y otros desperfectos en las estructuras principales (muros) que afectan la eficiencia y seguridad operacional de los mecanismos que circulan por ellas.

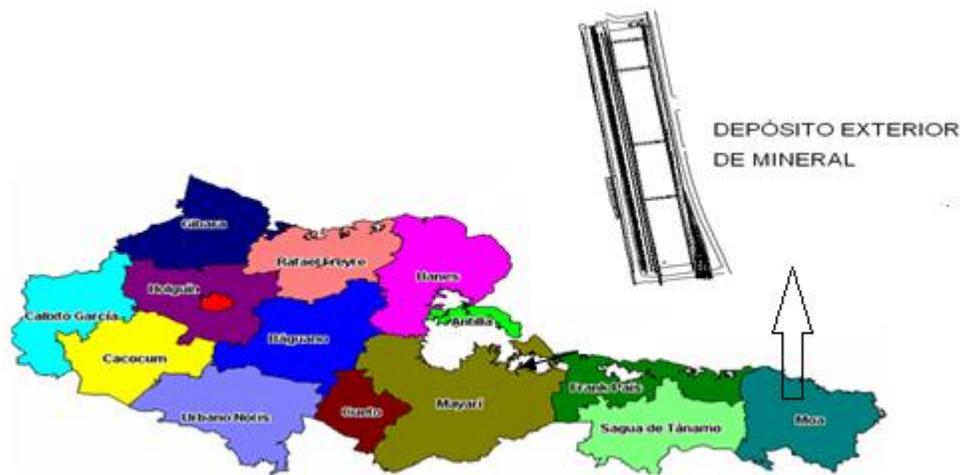


Figura 13. Ubicación geográfica del caso de estudio.

La formación geológica que existe en la zona de trabajo es la Jagüeyes. Según informe de la ENIA, 2007, el área presenta un relieve antropogénico, producto al proceso tecnológico en la planta de níquel. A través del corte litológico, está conformado por un relleno de arcilla laterítica y material serpentínico proveniente de la mina, con espesores que varían de 0.95 a 2.50 m de profundidad, consistencia blanda debido al exceso de humedad. La capa 1 presenta arcilla muy plástica, de color carmelita con vetas verdosas y grises, entre 0.95 y 14.30 m de profundidad en todas las calas; a partir de 11.40 hasta 20.0 m de profundidad está la arcilla margosa de alta plasticidad de color gris verdoso, estas capas están caracterizadas por consistencia muy dura y alto contenido de humedad. Ver anexo 1.

El depósito exterior de la planta de recepción y preparación de mineral se encuentra en la zona Sur de la fábrica, figura 14, constituyendo uno de los objetos fundamentales, pues es el almacén de entrada de mineral al proceso productivo. Tiene una longitud de 370 m, un ancho de 70 m y altura o profundidad de 4.5 m, su capacidad efectiva es de 116 550 m³. El peso de las grúas es de 400 T, en el anexo 2 se muestra una imagen de las cargas que actúan sobre el objeto. La cimentación es combinada, compuesta por 6 muros principales (A, B, C, D, E y F), que contienen el empuje de los terraplenes (relleno) a ambos lados del depósito, así como soportan el ferrocarril y las cargas dinámicas que transitan sobre ellas (4 grúas, 2 alimentadores, trenes y vagones). Los

muros están apoyados sobre pilotes y sus pendientes longitudinales y transversales tienden a cero grados. El cimiento o muro principal es el E (a la izquierda), donde se aprecian las deformaciones a simple vista, principalmente en el centro de la luz. Acosta González L., 2008.ver figura 14

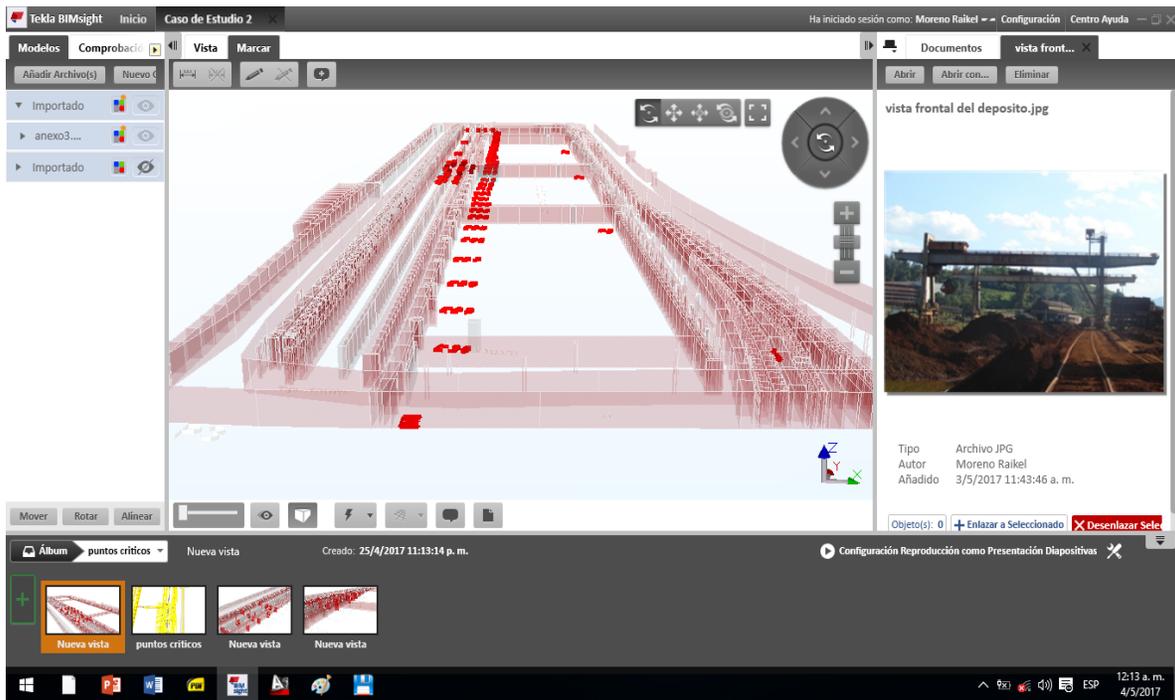


Figura 14. Vista frontal del depósito de mineral.

Los desplazamientos del objeto analizado se determinaron por las diferencias de coordenadas entre dos ciclos, tomando siempre como base el ciclo inicial o ciclo cero, aunque se pueden establecer comparaciones entre ciclos contiguos. Las consideraciones en su determinación fueron expuestas anteriormente.

Se efectúa un reconocimiento detallado del área de investigación, determinando los lugares de ubicación de la Base de Referencia y los puntos de control (marcas), respetando los requerimientos establecidos por USACE, 2002, referidos anteriormente.

La base de referencia está formada por 7 puntos (del P-1 al P-7), que además conforman un polígono geodinámico, se encuentran alejados del área de influencia directa del objeto y se les controla rigurosamente su estabilidad, ya que constituyen la base de los estudios y la veracidad de los resultados. Los puntos de control se ubican

en el cuerpo de los muros de contención, 31 marcas en el muro E, 3 marcas en el muro F, 5 sobre el cimiento D (rodamiento derecho de las grúas Indias), 7 en el cimiento C (rodamiento izquierdo de los alimentadores) y 4 marcas sobre el cimiento B (rodamiento izquierdo de los alimentadores), para un total de 57 puntos, Acosta González L., 2008.

Los puntos de control o marcas se sitúan directamente en el cuerpo de los cimientos (muros), en lugares donde mayor posibilidad efectiva existe para determinar las deformaciones, distribuyéndose los mismos en aquellas áreas donde existen cambios bruscos de la carga y representen los puntos más deformables y críticos, colocándose en el objeto un total de 57 marcas. La ubicación de las marcas es en lugares que prestan comodidad para la colocación del instrumental necesario para las mediciones (miras y prismas) y el trabajo a su alrededor, excepto las ubicadas en el muro E, que se dificultan porque colindan con el depósito.

Las exigencias en la obtención de los resultados de los desplazamientos son determinantes para juzgar el tipo de deformación y para aplicar las metodologías de observación y cálculo apropiadas, además en la práctica y perfeccionamiento de las normativas establecidas. Actualmente los métodos de determinación en el sistema de 3D son aplicados con mayor frecuencia por García Díaz J. y Acosta González L. E., (2005) en la región niquelífera de la Provincia Holguín; esto permite determinar los cambios de posición del objeto en cuestión, expresadas por tres componentes del desplazamiento vectorial en un sistema de referencia fijo y un lapso de tiempo asumido, el cuál luego puede servir para el análisis de los estudios integrados de la deformación, así como la visualización de las representaciones gráficas.

La aplicación de los SIED describe la posición espacial de los puntos de control en diferentes periodos de tiempo, en el caso de estudio se realiza una modelación geométrica y en el tiempo de la posición del objeto, permitiendo además realizar el análisis estadístico, según USACE, 2002; Ge L., H. Wang, C. Rizos, 2006; Guarnieri A. et al, 2006; es decir, la predicción de las deformaciones, logrando:

1. Determinar el tipo y causa del movimiento que experimentó el objeto

2. Caracterización de las relaciones geométricas y estabilidad del objeto
3. Desarrollo de los modelos de la predicción

Teniendo en cuenta que al manejar toda esa información importante no solo la veremos gráficamente (1D y 2D), sino que analizaremos la información gráfica con la espacial en el colaborador de construcción. Ver figura 15.

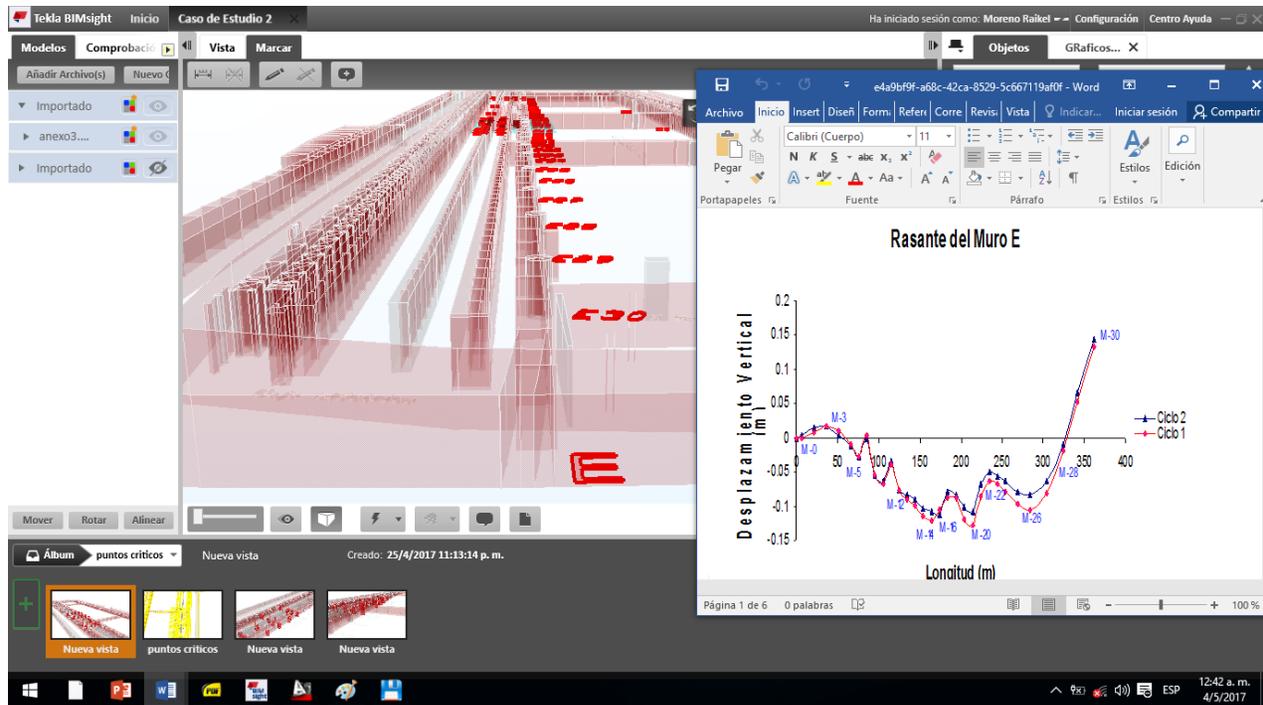


Figura 15. Desplazamiento vertical en el Muro E (1D).

El desplazamiento vertical producto de la rasante a las marcas del muro E no es significativo, teniendo en cuenta que entre los puntos extremos E0 y E30 existe una diferencia de +144 mm en una distancia de 361.860 m, lo que implica una pendiente de 0.04 %. Se observa una zona desde la marca M-7 hasta la M-27 con valores negativos a la rasante E0 –E30, el comportamiento es similar al primer ciclo de observaciones. Aquí la pendiente está en el rango del valor establecido por proyecto de 0.00 %.

El resultado de las comparaciones de las alturas de los puntos en este muro presenta valores que van desde +1 mm (punto E9) hasta +20 mm (punto E26), concentrándose las mayores diferencias a partir del punto E19 hacia el sur o final del muro. La sección del muro desde el punto E0 hasta el punto E12 presenta estabilidad, pues las diferencias de las alturas obtenidas entre ambos ciclos promedian en el orden de los ± 3

mm. Para la sección crítica desde el punto E12 hasta el punto E26 existen valores de consideración, como el expuesto en el mismo punto E26. El resto del muro desde el punto E12 hasta el final promedio +12 mm. La tendencia general de las deformaciones tiene un carácter diferencial con valores negativos (asentamientos) y positivos (ascensos). Ver figura 16.

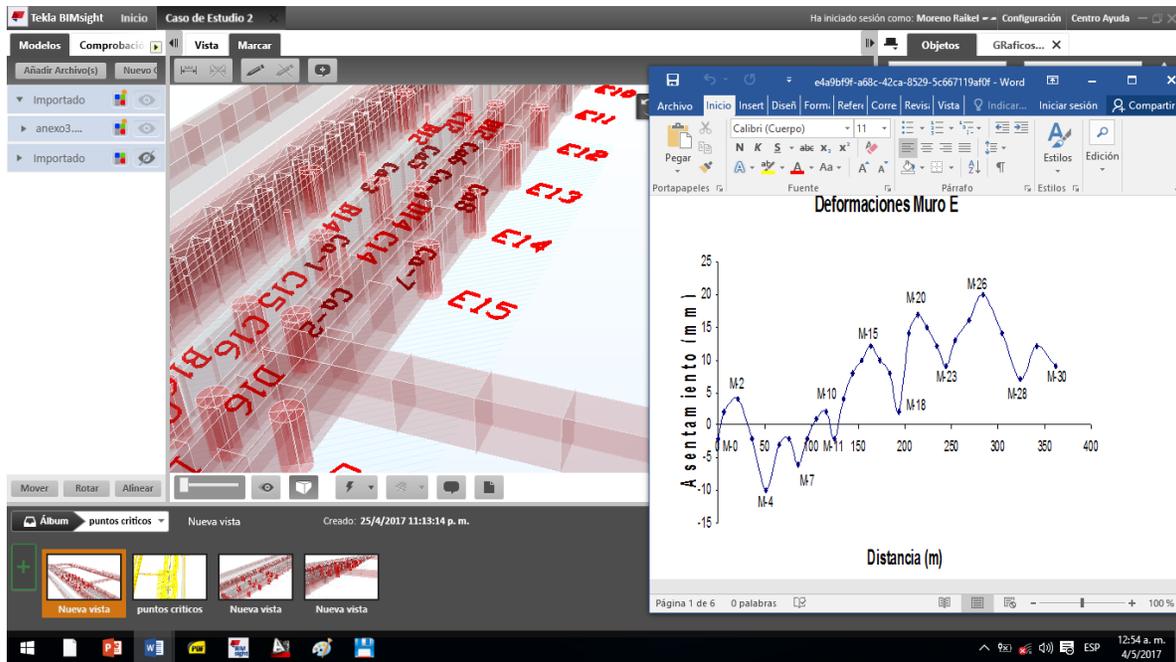


Figura 16. Asentamiento en el muro E (1D).

- Muro E en 2D

La curvatura del desplazamiento horizontal se corresponde con el sentido físico de las condiciones estructurales (de apoyo) del muro, así como a las observaciones realizadas en el primer ciclo, los valores positivos responden al desplazamiento en la dirección del relleno (sobrecarga) y el valor negativo a la flecha que se produce en el centro de la luz hacia el interior del depósito, por la acción del empuje del terreno y las cargas dinámicas por la circulación en las vías.

Denominaremos sección crítica donde los valores de las deformaciones sean significativos y tiendan a incrementar su dirección y sentido por las características estructurales y la acción de las cargas. El muro presenta deformaciones de consideración y crecientes en sentido positivo (derecha) y negativo (izquierda), estacionado en la marca E-0 y orientado hacia la marca E-30.

Los valores positivos máximos de 317, 276 y 216 mm, en las marcas E6, E7 y E8 en dirección al relleno que porta las vías, situadas en el tramo inicial antes del centro de la luz, y de 315, 346, 340, 471, 419 y 398 mm en las marcas situadas a continuación del centro de la luz en el tramo final, desde la marca 21 a la 26 respectivamente. Esta situación provoca dos secciones críticas, a 1/4 y 3/4 de la longitud del muro. Los valores negativos más significativos son de la marca 12 a la 16 con magnitudes de -62, -182,- 151,- 158,- 147 mm, materializando una sección crítica en el centro de la luz, los cuales a pesar de haber disminuido con respecto al primer ciclo son de consideración y pueden incrementarse por el empuje del relleno y la acción de las cargas dinámicas. Ver figura 17.

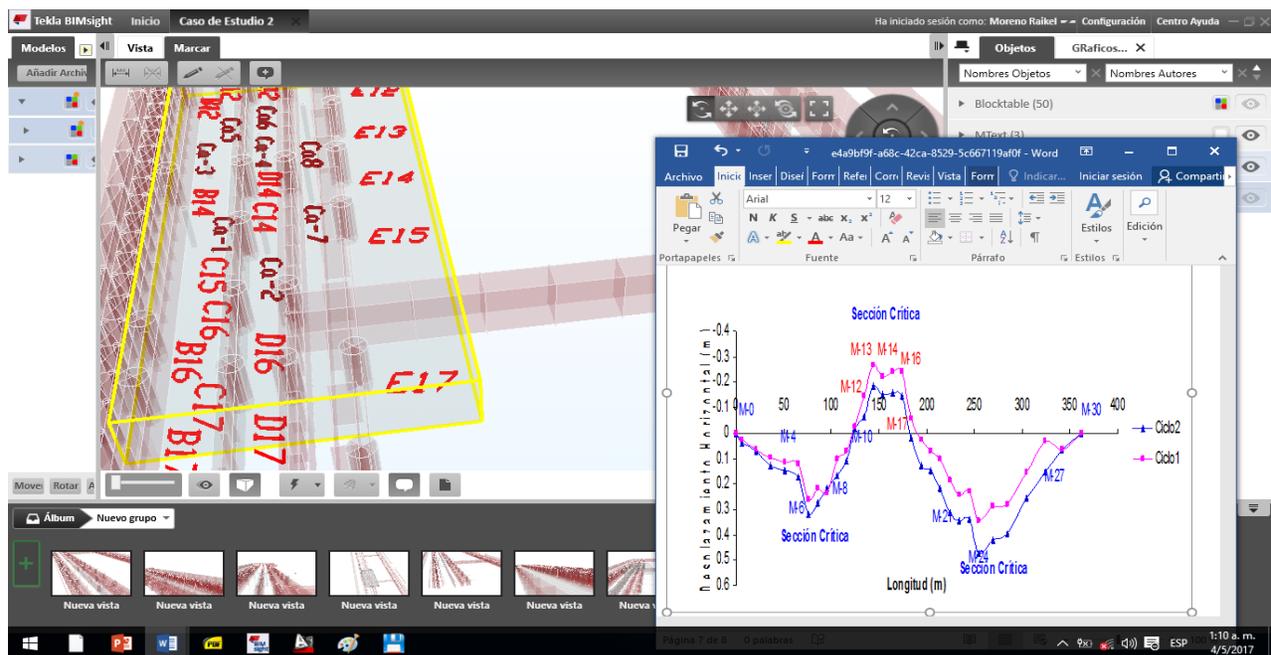


Figura 17. Muro E en 2D sección crítica.

- Muro D

La rasante manifiesta un comportamiento similar al primer ciclo de observaciones, con un cambio de pendiente de la marca M-12 a la M-16 con un valor de 0.35 %, que difiere del valor proyectado, evidenciando un hundimiento en las marcas M-12, M14 y M-16. De los asentamientos en la sección crítica del muro D, lo más representativo es el ascenso de 10 mm de la marca 16, evidenciando un asentamiento diferencial de 20 mm entre las marcas 12 y 16. Ver figuras 18 y 19.

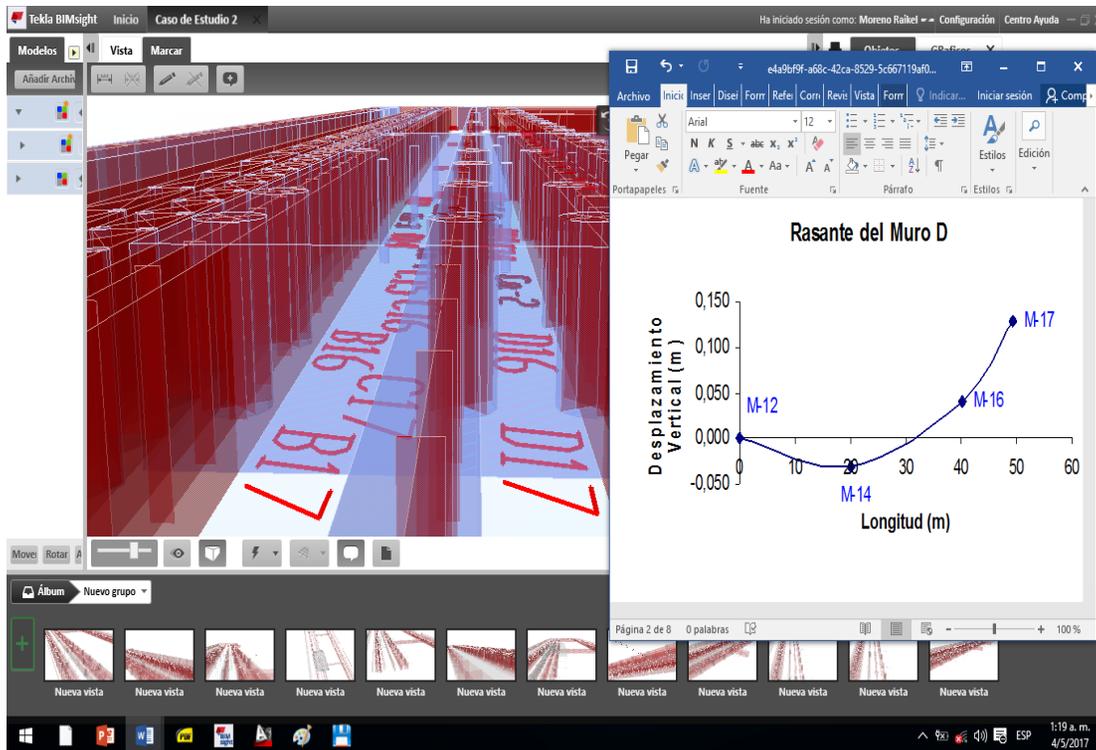


Figura 18. Muro D desplazamiento vertical (1D).

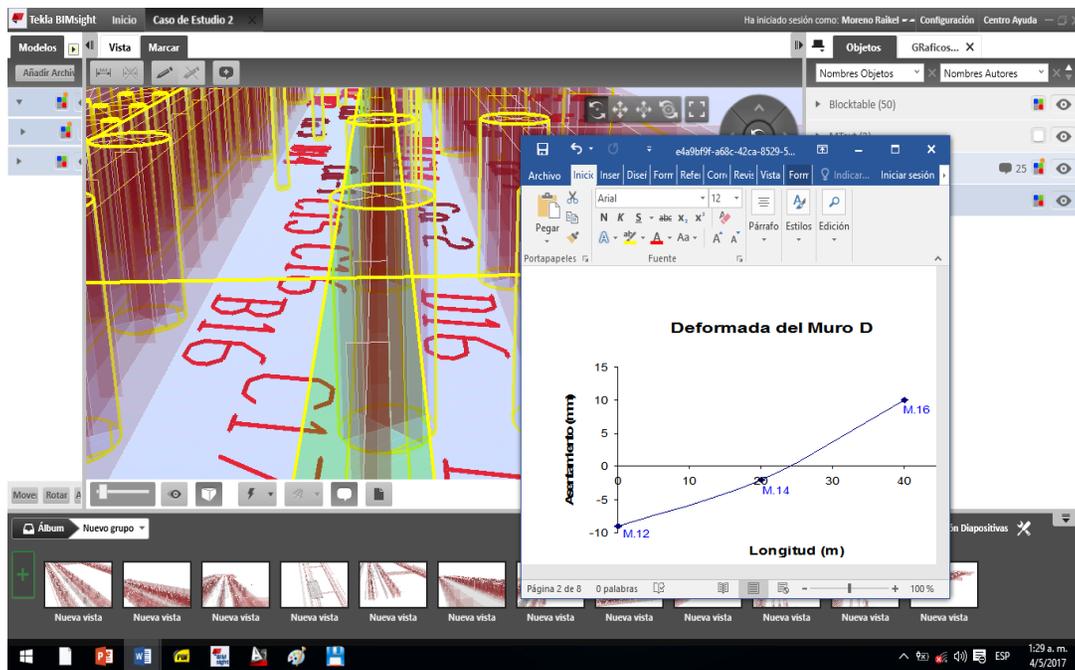


Figura 19. Asentamiento del muro D (1D).

Para determinar la rasante en la sección crítica se toma como base (pivote) las marcas ubicadas en el muro B, teniendo en cuenta que las diferencias de las alturas en sus extremos no son significativas y están en el rango del error de su determinación de ± 2

mm. La tendencia de las desviaciones se define en el primer ciclo, a través de los perfiles de la rasante, la cual se mantiene en el segundo ciclo y es significativo señalar que existe una diferencia de altura considerable entre los muros B, C y D, E, que difiere de lo establecido por proyecto y se acentúa en la sección crítica del centro de la luz. En lo adelante sólo haremos referencia a la deformada producida por los asentamientos. Los perfiles de la deformada definen la tendencia de los asentamientos para dos ciclos de observaciones y se realizan en sentido longitudinal y transversal para los muros B, C, D y E profundizando en la sección crítica (marcas 12, 14, 16 y 17) situada en el centro de la luz, ya que en esta área se observan a simple vista irregularidades, por ejemplo: apoyos para la nivelación de las vías mayores de 20 cm, lo que significa que en algún periodo de tiempo ocurrieron deformaciones considerables.

- Perfil de la deformada en la marca 12.

La tendencia es al asentamiento diferencial, con un ascenso de 4 mm en los muros B, E y asentamientos de -5 y -9 mm en los muros C y D. Ver figura 20.

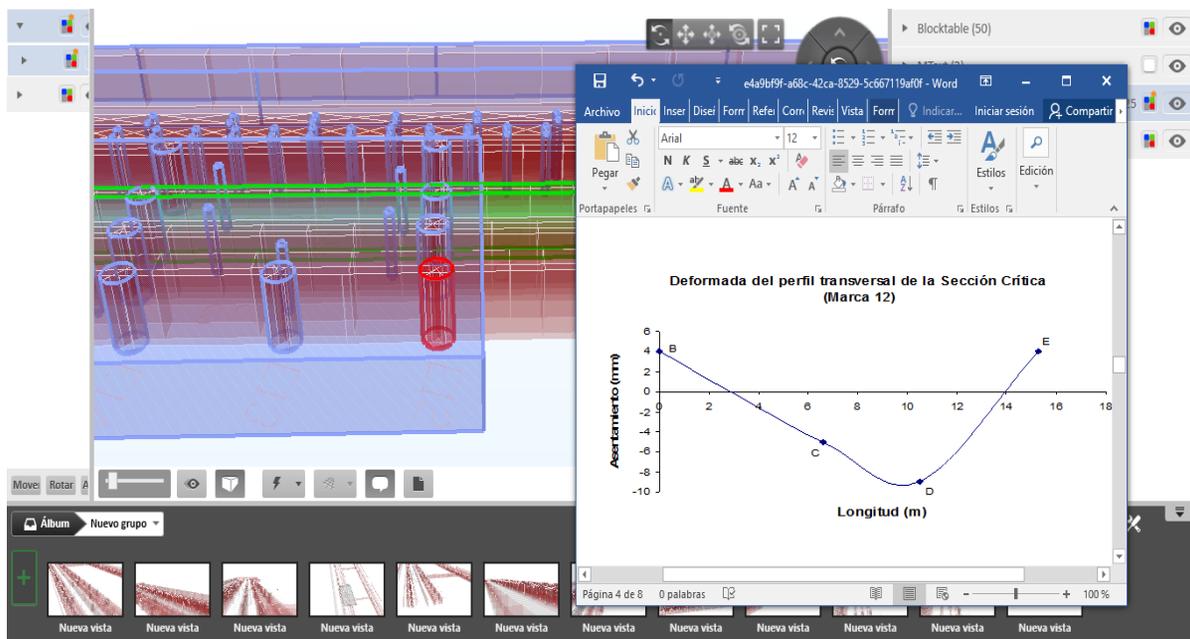


Figura 20. Deformada del punto de control (marca) 12.

- Perfil de la deformada en la marca 14

La tendencia es al asentamiento diferencial, con un ascenso de 10 mm en el muro E y un asentamiento de -6 mm en el muro C. Ver figura 21

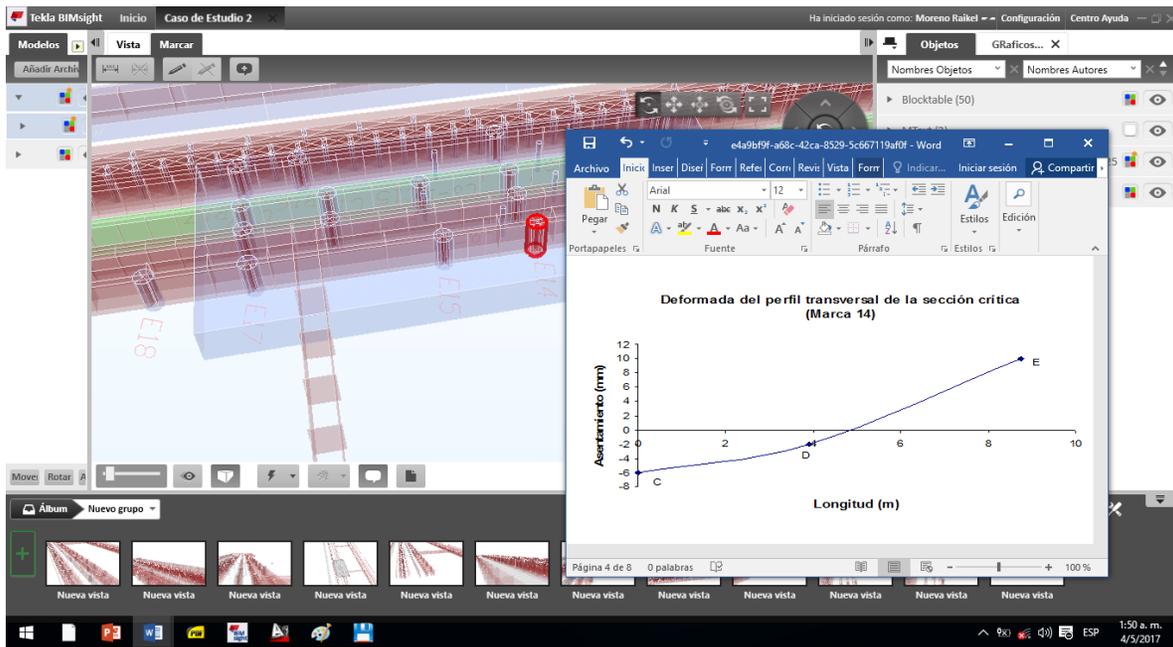


Figura 21. Deformada del punto de control (marca) 14.

- Perfil de la deformada en la marca 16

La tendencia es al asentamiento diferencial con un ascenso de 10 mm en el muro D y asentamientos de -8 y -18 mm en los muros C y E.

- Perfil de la deformada en la marca 17

La tendencia es al asentamiento diferencial, con un ascenso de 8 mm en el muro E y asentamientos de -19 y -10 mm en los muros D y C respectivamente.

La mayor problemática se presenta en la línea D (donde circula el apoyo principal de la grúa) que manifiesta un hundimiento en las marcas desde la 12 a la 16 entre 6 y 8 cm provocando una pendiente en esta sección crítica de 0.4 %, superior a la establecida por proyecto. La diferencia que presentan las marcas de la sección crítica (en términos de rasante) con respecto a las marcas de los extremos, supera los 20 cm. Existen

diferencias significativas entre las vías B, C y D, E, que manifiestan su inclinación en sentido al almacén de mineral. Ver figura 22.

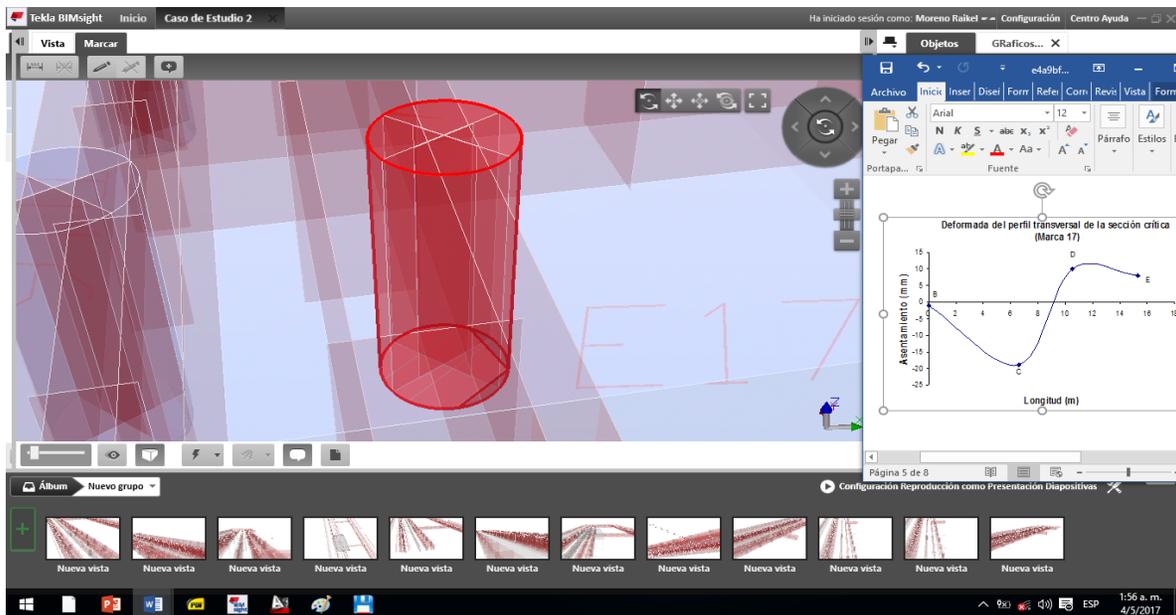


Figura 22. Deformada del punto de control (marca) 17.

La tendencia del desplazamiento horizontal es al incremento a partir de la marca 12 que inicia la sección crítica, del centro de la luz, hasta la marca 28; con valores significativos de 85 hasta 128 mm, que es el mayor valor observado en las marcas 24 y 25. Este comportamiento significa que los desplazamientos han aumentado en dirección y sentido, provocando una deformada del muro que se mantiene en la dirección del centro de la luz, y a la vez el efecto contrario a ambos lados donde aparece la sobrecarga del terreno y las cargas dinámicas. Los valores de asentamientos no son representativos por su magnitud y velocidad, no obstante, se le debe prestar especial atención a los asentamientos diferenciales de las marcas 12, 14, 16 y 17 de los muros C, D y E de la sección crítica del centro de la luz; prevaleciendo como cuestión a monitorear integral y multidisciplinariamente los desplazamientos horizontales que manifiestan magnitudes y velocidades significativas. Ver figura 23.

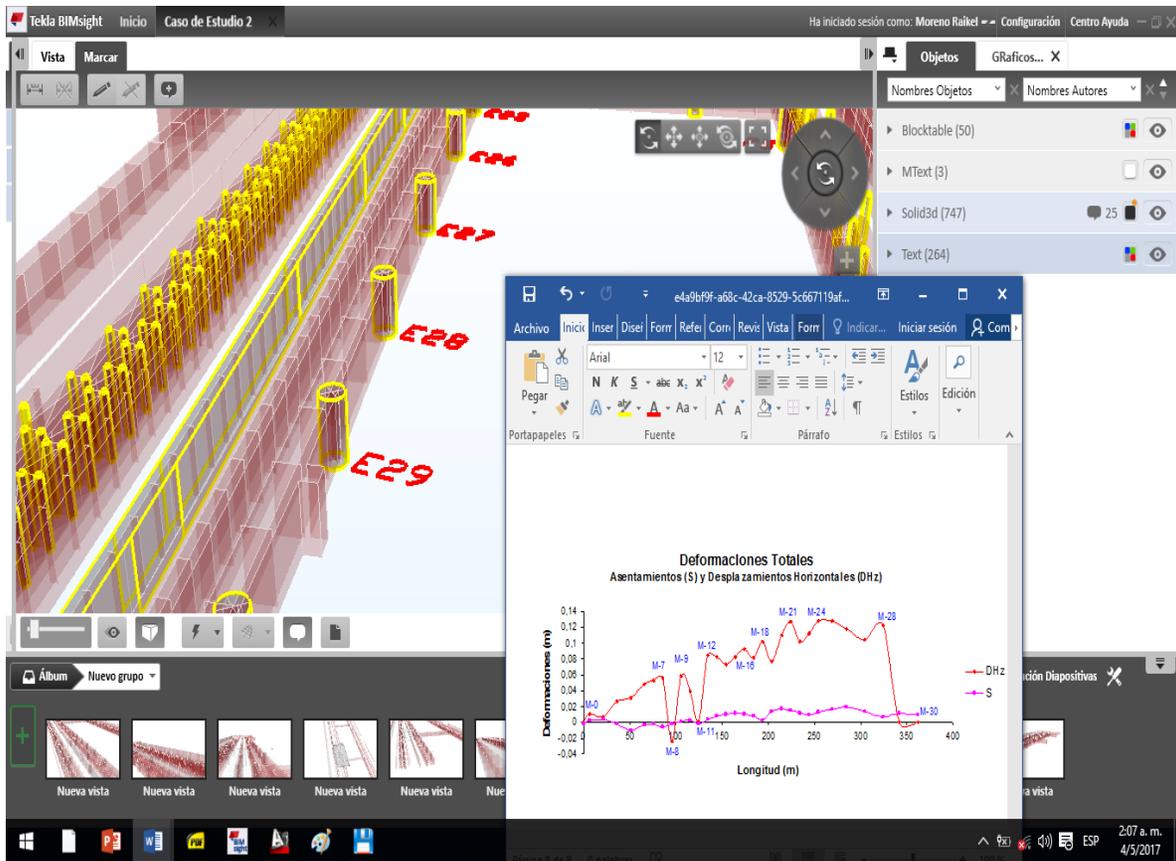


Figura 23. Deformaciones totales (3D)

CONCLUSIONES GENERALES

1. La aplicación del software Tekla BIMsight permite realizar los estudios de deformación, mostrando los resultados en 3D, lo que posibilita la toma de decisiones interdisciplinariamente, durante los procesos de construcción y explotación de una obra de Ingeniería.
2. Los valores de los desplazamientos horizontales más representativos se observan en el Muro E, generando dos secciones críticas situadas a 1/4 y 3/4 de su longitud, con magnitudes de 317 y 471 mm respectivamente, que ponen en riesgo la estabilidad de la cimentación y seguridad operacional en las vías.
3. La tendencia de los asentamientos en la sección crítica en el centro de la luz tiene un carácter diferencial y se acentúa en las marcas 16 y 17 de los muros C, D y E, induciendo la inclinación, que provoca un incremento del empuje del relleno y las cargas dinámicas permanentes, actuando desfavorablemente para incrementar las deformaciones, lo que afecta la estabilidad y seguridad operacional del depósito de mineral.
4. La aplicación de la herramienta Tekla BIMsight para SIED, permite mayor calidad e inmediatez en la exposición gráfica de los resultados, así como generar diferentes muestras del trabajo, de una manera muy dinámica, con solo escoger la consulta adecuada.

RECOMENDACIONES

1. Continuar el trabajo investigativo teniendo en cuenta la necesidad de ampliar a otros casos de estudios (obras hidraulicas y viales)
2. En el procedimiento del mapa digital utilizar el software Tekla Structures para mostrar con mayor detalle en la estructura las repercusiones de las deformaciones
3. Presentar los resultados de la investigación en eventos científicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta González L. Informe Técnico Interpretativo de los desplazamientos en el Depósito Exterior de Mineral. Holguín. 2008.
2. Acosta G.L.E., (2009). Determinación de índices de vulnerabilidad geotécnica por métodos geodésicos. (Tesis de Doctorado en ciencias técnicas). La Habana.
3. Arquirehab Software GRATUITO BIMsight de Tekla.htm. Consulta:16/04/2017
4. Bernal Cristóbal. Artículo Técnico(BIM y la industria de la construcción: una vista general). Universidad Iberoamericana,2016
5. Bojarowski K., Statistical and spatial analysis of displacements, 2006
6. Candusso R., (2013). Mejores diseños con un Mejor BIM.VW2013_bim_bro_span_low.pdf.Sao Paulo, Brasil.
7. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers Manual" Structural Deformation Surveying" Washington, DC 20314-1000, 2002.
8. Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. Encarta
9. GEOCUBA Grupo Empresarial. Metodología para el control de deformaciones de obras a partir de métodos geodésicos. 2004.
10. Geoslope Internacional Ltd. SIGMA/W. Canadá 2002.
11. Gómez F.I., (2013). Interacción de procesos BIM sobre una vivienda del movimiento moderno. La Ville Savoye. (Trabajo fin de grado). Escuela Universitaria de arquitectura técnica,Espana.
12. Henry Qi,(2016) How a BIM Engineer showed the benefits of Tekla BIMsight to the project team _ teklabimsight.com.htm) Consulta:20/03/17

13. Humberto Farina, 2016 (intensive-bim-ensures-enjoyable-holidays-rio-de-janeiro).
Consulta: 20/03/2017
14. Hyunwoo Roh, (2016). Speedy work and error-free design in a huge project with a simple tool _ teklabimsight.com.htm) Consulta: 20/03/2017
15. Lui V., Ng J. and Kwong A. K. L. Reclamation Ground Settlement Monitoring by using GPS and other Positioning Technologies at Shenzhen Airport. 2007.
<http://www.figww2007.hk/html/technical.php>.
16. Milán G.C.A., (2008). Sistema de Información Espacial de Deformaciones en obras industriales. (Tesis de Maestría). La Habana.
17. Milán T. Geometrical Analysis of Deformation Measurement using Continuum Mechanics by Web Application, FIG Working Week 2007. Hong Kong SAR, China.
<http://www.fig.wv2007.hk/html/technical.php>
18. Miller H., (2012). Informe de actividades (BIM - Building Information Modelling). Academia nacional de ingeniería sección ingeniería civil. 007-Civil.pdf.
19. Nagwa El-Ashmawy. Semi-Automatic Technique for 3D Building Model Generation. 2007. <http://www.figww2007.hk/html/technical.php>
20. Quevedo G., Mecánica de los medios continuos. Asignatura de la Maestría en Estructuras. UCLV, Santa Clara. 2002.
21. Stathas D., Arabatzi O., Dogouris S., Piniotis G., Tsini D. y Tsinis D. Nuevas técnicas de control en la determinación de deformaciones de estructuras. 2003.
22. Švábenský O. y Weigel J. Accuracy Management in G.P.S. Engineering Applications. 2002. www.fce.vutbr.cz
23. Švábenský O. y Weigel J. 2004. Deformation Measurement of Railway Bridge Abutment Pier INGENIO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying Bratislava, Slovakia, 2004.

24. Temel Bayrak, Mualla Yalc, Universidad Técnica Karadeniz, Trabzon, Turquía, en 2003. <http://www.fig.net/>.

25. Tutorial_Construya_como_se_modela_con_Tekla_BIMsight(descargaryoutube.com).
Consulta:(5/04/2017)

26. Welsch W. M., Heunecke O. Models and terminology for the analysis of geodetic monitoring observations, Official Report of the Ad-Hoc Committee of FIG Working Group 6.1. FIG Publication No. 25. Santorini, Greece. 2003.

ANEXO 1

CORTE LITOLÓGICO QUE MUESTRA LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DEPÓSITO EXTERIOR DE MINERAL. (Milán G.C.A.,2008)

