

Modelo matemático para el control y auditoría de movimientos de tierra

Mathematical model for the control and audit of land-movement

Galarza, John¹; Andrade, Ciro²; Vélez, Eva³; Roa, Olga^{3-4*}

^{1,2} Facultad de Cs. Mat. y Físicas, Universidad Guayaquil (UG), Ecuador,

³ Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Guayaquil (UG), Ecuador,

⁴ Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad de Especialidades Espíritu Santo (UEES), Ecuador

*olgaroa@uees.edu.ec

Resumen

En el control y auditoría de movimiento de tierras en obras civiles es indispensable considerar la irregularidad del terreno, su composición y los resultados generados por los estudios del suelo e informe geotécnico. Es común que los terrenos a trabajar no presenten superficies regulares y que los materiales que lo constituyen sean variados tales como roca, arenas, arcillas y limos, entre otros; adicionalmente si los estudios geotécnicos demandan un movimiento de tierra variable para alcanzar la superficie de proyecto será necesario realizar cortes o rellenos en diferentes zonas del terreno tal que los espesores no deben exceder una cota predefinida. Esta investigación se basa en el diseño y construcción de un sistema computacional denominado Auditoría de Movimiento de Tierra, producto de un modelo matemático de integración numérica, mediante el cálculo de los volúmenes de desalojo de capa vegetal, excavación sin clasificar, relleno con material de préstamo local o importado. Finalmente en los resultados obtenidos del modelo son almacenados en archivos de formato editable permitiendo evaluar las diferencias de cotas y determinar excesos o déficit en los procesos tanto de corte como de relleno, los datos son de tipo tridimensional lo que hace posible su geo-referenciación permitiendo mayor precisión al definir puntos de toma de calicatas.

Palabras clave: Movimientos de tierra, volúmenes de corte y relleno, cálculo numérico de volúmenes.

Abstract

In the control and audit of earthworks in civil engineering projects it is essential to consider the uneven ground, its composition and the results generated by soil studies and Geotechnical reports. It is common that the lands to work do not present regular surfaces and that the materials that constitute it are varied such as rock, sand, clay and silt, among others. Additionally, if the Geotechnical studies require a variable land movement to reach the project surface, it will be necessary to make cuts or fillings in different areas of terrain such that the thicknesses should not exceed a predefined dimensions. This research is based on the design and construction of a computer system called Land-Movement Audit, which is the product of a mathematical model of numerical integration, developed by calculating of volumes of topsoil, unsorted excavation, filling with local loan material or imported materials. Finally, the results obtained from the model are stored in files of editable format allowing to evaluate the differences of dimensions and to determine the excess or deficit in the processes of both cut and fill. The data are of three-dimensional type which makes possible its geo-referenciation allowing greater precision when defining the points of direct soil inspection

Key words: Earthworks, cut and fill volumes, numerical calculation of volumes.

1 Introducción

El movimiento de tierra en un proyecto constituye un rubro de elevado costo, por ello la relevancia de un efectivo control por parte del contratista y los fiscalizadores de la obra.

El cálculo de los volúmenes de movimientos de tierra deben realizarse previamente a la construcción de la obra, ya que permiten controlar que el movimiento de las capas a excavar y rellenar se hallen dentro de los límites exigidos por los

estudios de suelo e informes geotécnicos. Por tanto, debe realizarse durante el proceso de desmontes y terraplenes o con el movimiento de tierra ya realizado, y no con la obra ya ejecutada (entiéndase excavada y hormigonada).

Si la empresa a cargo del movimiento de tierra incumple las especificaciones técnicas afectará el presupuesto del proyecto, exponiéndose a pérdidas económicas y a sanciones de tipo legal. Adicionalmente debido a los controles y evaluaciones periódicas a las instituciones públicas relacionadas con la administración de las obras de construcción, la gestión de los contratistas y fiscalizadores, el manejo de la contratación pública, el cumplimiento de las cláusulas contractuales, entre otras, se hace obligatorio dar respuestas ágiles y técnicamente soportadas.

Tomando en consideración la estructura multicapas de un suelo, es posible definir elementos prismáticos regulares entre capas que representarán los volúmenes de desalojo de capa vegetal, corte de material, relleno con material de préstamo local o importado y posteriormente mediante el uso de un modelo matemático de integración numérica se podrán calcular los volúmenes correspondientes al movimiento de tierra.

Programas como Microstation civil 3d, AutoCad civil 3d y AutoCad civil permiten determinar el volumen entre una superficie base y una superficie de comparación, utilizando algoritmos basados en la triangulación de Delaunay (alta precisión) o definiendo secciones transversales y utilizando fórmulas básicas de geometría (media precisión). Dichos programas calculan el volumen dadas dos superficies pero no realizan el análisis del proceso constructivo en el movimiento de tierra de obras civiles, en cuyo caso es necesario controlar el déficit o exceso en volumen respecto a los requerimientos del proyecto.

AMT, realiza el cálculo del volumen utilizando la triangulación de Delaunay y un algoritmo de integración numérica e incorporando el análisis simultáneo de todas las superficies que se definen en el proceso constructivo. La precisión de los resultados se mejora dependiendo del tamaño de la retícula, el cual es función del área total del proyecto, por ejemplo en áreas menores a 5 ha se pueden seleccionar celdas de 1x1 m, y en áreas de mayor dimensión se pueden seleccionar celdas entre 5x5 m a 10x10 m. A menor tamaño de la celda se obtiene mayor precisión pero se requiere mayor capacidad de almacenamiento.

2 Desarrollo

En esta investigación se presenta el desarrollo de la herramienta informática denominada Auditoría en Movimiento de Tierra (AMT), cuyo modelo matemático está basado en la integración numérica de elementos diferenciales de volumen. El software además de ser de bajo costo computacional permite realizar el seguimiento y control del movimiento de tierra de forma práctica y sencilla. Los requerimientos de hardware corresponde a una estación de trabajo o PC en

entorno Windows o Linux y los requerimientos de software son Excell, AutoCad Civil 3D de Autodesk o MicroStation de Bentley.

Los procesos en el desarrollo de la herramienta como primera instancia siguen el modelo integrado de capacidad y madurez (CMMI) para diseñar, desarrollar e implementar soluciones que potencialmente satisfagan un conjunto de requisitos establecidos, y posteriormente la Ingeniería de Software sigue los estándares IEEE 1074, que enmarcan los procesos de construcción, las pruebas e integración de software en actividades y sub-actividades de: Diseño (algoritmos, salidas y gestión de procesos ejecutados), Construcción (crear código ejecutable y documentación operativa), Evaluación (revisión de diseños, implementaciones, documentación e integración del producto). (Castillo y Col., 2010).

La integración de la superficie discretizada mediante elementos diferenciales permitirá obtener los correspondientes volúmenes de corte (sobre la línea de cota de proyecto) y de relleno (bajo la línea de cota de proyecto). Adicionalmente, se representa las etapas estándar que se ejecutan en un movimiento de tierra, allí se detallan las cotas correspondientes al terreno natural (TN) que se determina por los estudios topográficos, la cota teórica de desbroce (TDT) que se determina según especificaciones técnicas como la diferencia entre TN y h, donde h representa el espesor de la capa vegetal a retirar definida por especificaciones de contrato, cota del proyecto (CP), capa de mejoramiento (t), cota de proyecto considerando el espesor para relleno (CPt), excavación sin clasificar (ESC) y para obtener finalmente la cota de terreno desbrozado real (TDR) determinada por la topografía luego de desbrozar el terreno.

En la figura 1, se detalla un caso de movimiento de tierra identificando el estado de terreno natural hasta la etapa de relleno. Considerando la superficie de terreno natural y la cota de proyecto, es posible, mediante elementos diferenciales 3D con área de sección transversal $dx.dy$ y con altura variable dz (ej.: dz es la diferencia entre las cotas terreno natural y la cota de proyecto) determinar el volumen del elemento diferencial (Chapra y Col., 2010). Las etapas a seguir en el movimiento de tierra corresponden al terreno en condición inicial, luego al terreno cuando se ha removido la capa vegetal, posteriormente al terreno pendiente por excavación o relleno dependiendo del nivel de cota de proyecto y finaliza con el terreno ajustado a la cota del proyecto.

La primera etapa se basa en el corte de la capa vegetal para lo cual se establece el espesor de capa vegetal a retirar (h). El caso donde segmentos del terreno sean cortados ocasionando déficit o exceso respecto de las especificaciones contratadas, se verificarán tomando como referencia la cota teórica de desbroce (Nowak y Col., 2015). La complejidad para el cálculo del volumen de excavación-relleno depende del terreno a trabajar (Osses, 2008). En la figura 2 se representa el perfil estratigráfico de un caso donde mediante la combinación de TDT y TDR, se define una cota ajustada del

terreno desbrozado (TDR*) la cual pasa por los puntos A, B, C, D, E y será la cota base para otros cálculos de movimiento de tierra.

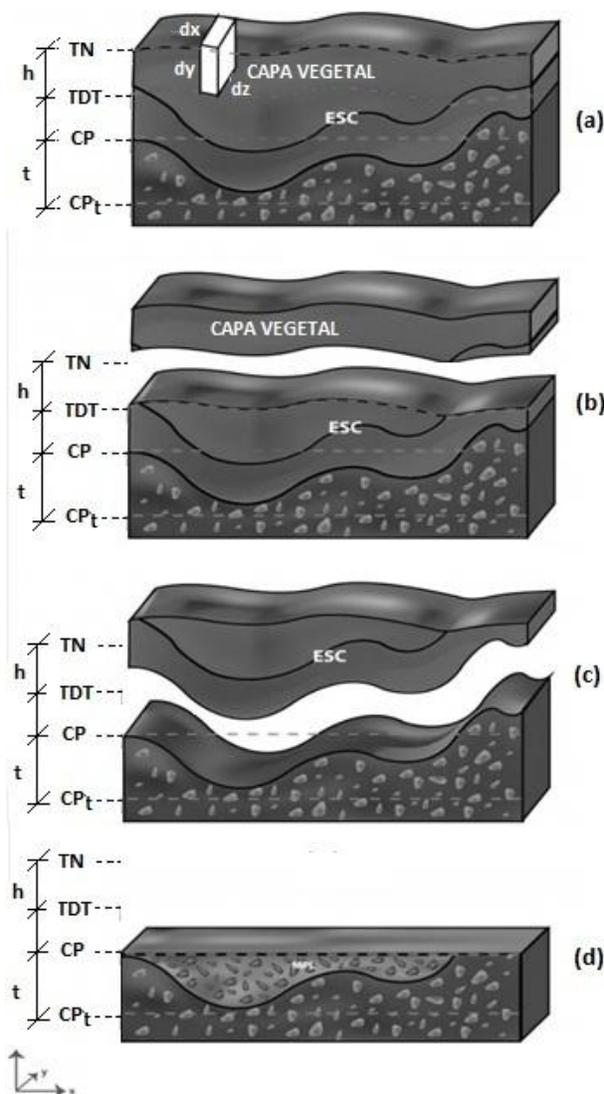


Fig. 1. Detalle de las etapas a seguir en el movimiento de tierra: (a) Terreno en condición inicial, (b) Terreno luego de remover la capa vegetal, (c) Terreno a nivel de cota de proyecto pendiente por excavación o relleno, (d) Terreno después de finalizar el movimiento de tierra.

A continuación se desarrollan las ecuaciones teóricas para determinar la cota teórica de desbroce, TDT y el volumen de capa vegetal a desalojar VC

$$TDT = TN - h \tag{1}$$

Considerando como cota de referencia a TN (z_i) se presentan tres posibles situaciones respecto a la relación entre TN, TDT y TDR (el esquema 1(izq.) se representan las posiciones relativas y en el el esquema 1(der.) las acciones requeridas)

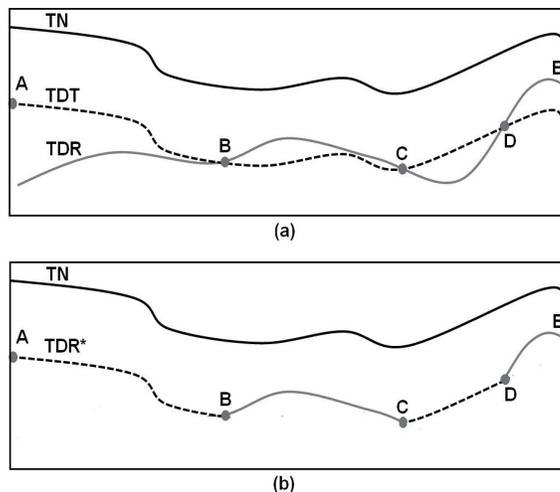


Fig. 2. Generación de una cota de referencia producto del retiro de la capa vegetal: (a) cota de terreno desbrozado inicial. (b) cota ajustada del terreno desbrozado (TN = terreno natural, TDT = cota teórica de desbroce, TDR= cota de terreno desbrozado real, TDR*=cota ajustada del terreno desbrozado).

$Z_i =$ Cota de referencia ↓ Z_i Decrece	---	TN	---	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } TDR_1 > TN \rightarrow TDR' = TN \\ \text{Si } TDT \leq TDR_2 \leq TN \rightarrow TDR' = TDR \\ \text{Si } TDT > TDR_3 \rightarrow TDR' = TDT \end{array} \right.$
	---	h	---	
	---	TDT	---	
		TDR ₁		
		TDR ₂		
		TDR ₃		

Esquema 1: Posición relativa y acción requerida.

A partir de las relaciones presentadas en el esquema 1 se definen dos diferenciales de volumen de corte, dVC1 y dVC2 dadas por las ecuaciones 2 y 1, como:

$$dVC1 = (TN - TDR)dx dy \tag{2}$$

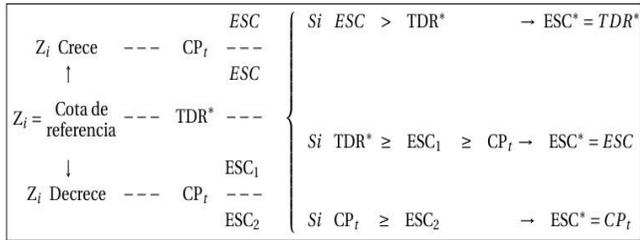
$$dVC2 = (TDT - TDR)dx dy \tag{3}$$

Teniendo en cuenta que si dVC2 es positivo el volumen corresponde a corte, y si dVC2 es negativo el volumen corresponde a relleno (entre las cotas TDT y TDR3). El cálculo del volumen de capa vegetal a desalojar, dVC: no tomará en cuenta dVC2 si es negativo. Por lo tanto :

$$dVC = dVC1 - dVC2^+ \tag{4}$$

Por los estudios geotécnicos se deberá retirar una capa de material sin clasificar de espesor variable (Excavación Sin Clasificar, ESC). Adicionalmente el espesor máximo a rellenar con material de préstamo local (capa de mejoramiento, t) es medido hasta la cota de proyecto (CP), entonces a partir de TDR* (fig.2b) se presentan varias posibles situaciones respecto a la relación posicional de las cotas ESC y CP. (El

esquema 2 (izq.) se representan las posiciones relativas y (der.) las acciones requeridas):

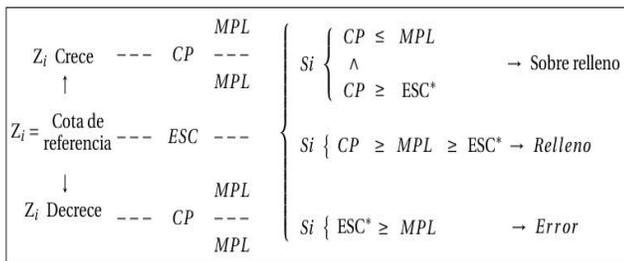


Esquema 2: Posición relativa y acción requerida.

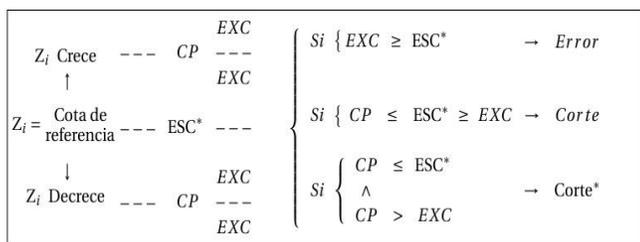
Considerando el espesor para relleno (t) se establece:

$$CP_t = CP - t \tag{5}$$

Finalmente la nueva cota de superficie denominada ESC* servirá como referencia para determinar: a) cortes (EXC) y sobre excavaciones (EXC*) b) rellenos con Material de Préstamo Local (MPL) o sobre rellenos (MPL*) según lo indicado en las siguientes relaciones, representando respectivamente en los esquemas 3 y 4, la posición relativa y la acción requerida:



Esquema 3: Posición relativa y acción requerida.



Esquema 4: Posición relativa y acción requerida.

Finalmente la nueva cota de superficie denominada ESC* servirá como referencia para determinar: a) cortes (EXC) y sobre excavaciones (EXC*) b) rellenos con Material de Préstamo Local (MPL) o sobre rellenos (MPL*) según lo indicado en las siguientes relaciones, representando respectivamente en los esquemas 3 y 4, la posición relativa y la acción requerida:

Debido a las condiciones particulares de cada proyecto y del terreno, se hace necesario contar con una herramienta computacional que simplifique el cálculo, y facilite el control

y análisis del movimiento de tierra partiendo de información obtenida de los estudios topográficos, geológicos, entre otros (Ormeño, 2011). La propuesta denominada AMT pretende organizar adecuadamente los datos y resultados de un proyecto de movimiento de terreno, simplificar el proceso de cálculo, optimizar la toma de datos (ej. Topográficos), ofrecer un servicio de baja demanda de sistemas tecnológicos pero con alta calidad y precisión.

3 Bases numéricas para el cálculo de volúmenes entre superficies

Sobre las superficies que definen cada capa del suelo se traza una retícula de puntos equiespaciados de coordenadas x, y, z, posteriormente entre capas consecutivas de suelo (en dirección z) se definen elementos prismáticos regulares generados alrededor de cada punto de la retícula en la superficie tal como se indica en la figura 3.

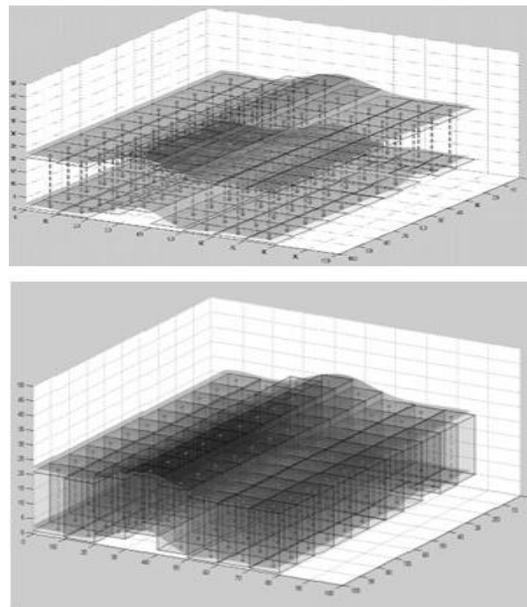


Fig. 3. Mallado sobre diferentes capas de suelo (sup.) y posterior generación de prismas regulares (inf.).

Los datos topográficos permiten obtener las coordenadas (x, y, z) de diferentes puntos de las capas de suelo. Se toma como base del mallado una retícula con un equiespaciamiento ($\nabla x \nabla y$) y posteriormente para determinar la dimensión ∇z se utilizan estrategias de interpolación 3D entre las coordenadas de los vértices de superficies triangulares definidas mediante la triangulación de Delaunay (Paul y Col., 1998).

El cálculo de los volúmenes correspondientes a las diferentes etapas del proceso de movimientos de tierra se obtiene luego de evaluar los aspectos teóricos descritos en la sección anterior y utilizando la integración numérica de cada

diferencial de volumen (Ecuación 6).

$$V = \sum_{i=1}^n (dx dy dz)_i \quad (6)$$

El software cuenta con un módulo que permite realizar comprobaciones y validaciones previas al cálculo final de volúmenes. En la entrada de datos se asignara el nombre del proyecto y se definirá el equiespaciamento de la retícula, adicionalmente se deben ingresar cotas para: el proyecto, terreno natural, terreno desbrozado, excavación sin clasificar y cota del relleno/excavación de material apto, (4, sup.).

PARAMETROS			
NOMBRE DEL PROYECTO: CERRO AZUL-ZONA 1 V3 2X2			
ÁREA DE CELDA (m ²):	4.00	ESPESOR MÁX DE EXC CAPA VEGETAL (m):	0.30
ESPESOR MÁX DE EXC DEBAJO DE LA COTA DE PROYECTO (m)	1.50	(LA SOBRE EXCAVACIÓN DE CAPA VEGETAL SE CONSIDERA EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR?):	NO
RESULTADOS			
RUBRO	CELDA	ÁREA (m ²)	VOLUMEN (m ³)
VOLUMEN DE CAPA VEGETAL:			
VOLUMEN DE CAPA VEGETAL:	108,653	434,612	120,044.48
ÁREAS NO DECLARADAS PARA ESC			
EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR (NO PLANILLADO)	0	0	0.00
SOBRE EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR	0	0	0.00
ÁREAS SI DECLARADAS PARA ESC			
EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR	20,404	81,616	46,012.85
SOBRE EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR	7,870	31,480	1,574.64
MATERIAL DE PRÉSTAMO LOCAL			
MATERIAL DE PRÉSTAMO LOCAL	68,984	275,936	405,797.28
SOBRE MATERIAL DE PRÉSTAMO LOCAL	7,076	28,304	2,636.62
FALTA MATERIAL DE PRÉSTAMO LOCAL	61,725	246,900	186,547.26
EXCAVACIÓN DE MPL EN ZONA DEL PROYECTO			
EXCAVACIÓN	52	208	208.00
SOBRE EXCAVACIÓN	130	520	520.00
FALTA EXCAVACIÓN PARA ALCANZAR COTA DE PROYECTO	0	0	0.00

SELECCIONE EL ARCHIVO DE RESULTADOS	
LOG.XLS	VOLUMENES POR CELDAS DE TODO EL PROYECTO
ERROR_TDR.XLS	PUNTOS CON ERRORES EN EL DESBROCE
VTDA.XLS	PUNTOS PARA CALCULAR VOLUMEN DESBROCE
ERROR_ESC.XLS	PUNTOS CON ERRORES EN ESC
VESC.XLS	PUNTOS DE ESC
VSESC.XLS	PUNTOS DE SOBRE ESC
VEXC.XLS	PUNTOS DE EXCAVACIÓN
VSEXC.XLS	PUNTOS DE SOBRE EXCAVACIÓN
VFEXC.XLS	PUNTOS DONDE FALTA EXCAVACIÓN
VMPL.XLS	PUNTOS DE MPL
VSMPL.XLS	PUNTOS DE SOBRE MPL
VFMP.L.XLS	PUNTOS DONDE FALTA MPL

Fig. 4. Tablas de resultados de AMT: Valores de volúmenes calculados (sup.); Archivos de resultados por etapa (inf.)

Con el desarrollo del software AMT se determinan los parámetros de auditoría que permiten establecer en forma cuantitativa las zonas donde se han incumplido los servicios contratados incurriendo en sobre excavación, sobre relleno, déficit de excavación o déficit de relleno. La precisión de los resultados dependerá del tamaño de la retícula de la malla de puntos que define el usuario, de la calidad en los datos de la topografía y de los datos iniciales del proyecto (Chapra y Col., 2012).

Cuando se hace necesario es posible cambiar los parámetros de espesor de capa vegetal o espesor máximo de excavación por debajo de la cota del proyecto, o el tamaño de equiespaciamento de la malla tal que, a menor tamaño de la retícula se logran resultados más exactos. Los resultados obtenidos con AMT corresponden a los volúmenes de las diferentes capas y cotas de los puntos donde ha ocurrido exceso o déficit en la excavación o relleno. La visualización de las zonas se puede lograr importando desde programas como MicroStation o AutoCAD, los archivos tipo EXCEL generados por AMT, (4 .inf) Mediante el uso de software AMT se realizó un estudio en una urbanización localizada al noroeste de la ciudad de Guayaquil, cuya superficie de trabajo es de aproximadamente 120 hectáreas. Los parámetros para el movimiento de tierra son los presentados en la 5, los datos topográficos de cada superficie fueron ajustados a una retícula de puntos sobre la capa en estudio y sus coordenadas en las dimensiones x e y se establecieron con un equiespaciamento de 2 m, posteriormente haciendo uso de la interpolación numérica y la triangulación de Delaunay se determinó el valor de la coordenada (Paul y Col., 2013).

Los nuevos datos del mallado son exportados y pre-procesados en una base de datos Access ajustada al formato requerido para su procesamiento con el software de AMT (Hennig y Col., 2013), (Collins, 2010).

Como se observa en la tabla de resultados se procesaron 110.623 puntos (celdas) de mallado que corresponden a las cotas de la superficie de terreno desbrozado; 24.256 puntos de mallado para la superficie de excavación sin clasificar, 69.738 puntos de mallado para la superficie rellena con material de préstamo local, 110.490 puntos de mallado para la superficie del terreno natural y 110.766 puntos de mallado que definen la superficie del proyecto. El tiempo total de procesamiento fue de 2 minutos.

Se obtiene un volumen de capa vegetal a desalojar de 120.044,48 m³, el auditor puede validar si se ha incurrido en un déficit o exceso mediante los resultados de AMT existentes en los archivos: *ERROR_TDR.XLS*, *VTDA.XLS*.

Los resultados de AMT para **áreas no declaradas para excavación** son cero debido a que en la entrada de datos se estableció que: la sobre excavación de capa vegetal no se consideró como excavación sin clasificar. Los volúmenes obtenidos como excavación sin clasificar y sobre excavación sin clasificar son 46.012,85 m³ y 1.574,64 m³ respectivamente, los cuales corresponden a **Áreas si declaradas para ESC**. Para la verificación el auditor deberá consultar los archivos de resultado del AMT: *VESC.XLS* y *VSESC.XLS*.

Posteriormente en la sección **Material de Préstamo Local** se pueden encontrar los volúmenes correspondientes al material de préstamo local, sobre material de préstamo local y material faltante para alcanzar la cota de proyecto; cuyos archivos asociados son: *VMPL.XLS*, *VSMPL.XLS* y *VFMP.L.XLS*, y permiten constatar in situ el movimiento de tierra ejecutado. Finalmente en la sección **Excavación**

de MPL en zona del proyecto, se obtiene un volumen de 208 m³ de excavación, 520 m³ de sobre excavación y 0 m³ como material que falta de excavar para llegar a la cota del proyecto, el auditor podrá hacer uso de los archivos: VEXC.XLS, VSEXC.XLS, VFEXC.XLS para la verificación en campo. (Ji y Col., 2008).

La utilidad del análisis detallado de AMT se puede ejemplificar mediante la evaluación de una sección del terreno utilizando los resultados de CSESC.xls. Como se puede observar en la figura 5, existen tres valores por cada punto del mallado correspondientes a las cotas de proyecto (7,80), de terreno natural (6,51) y de excavación sin clasificar (6,21).

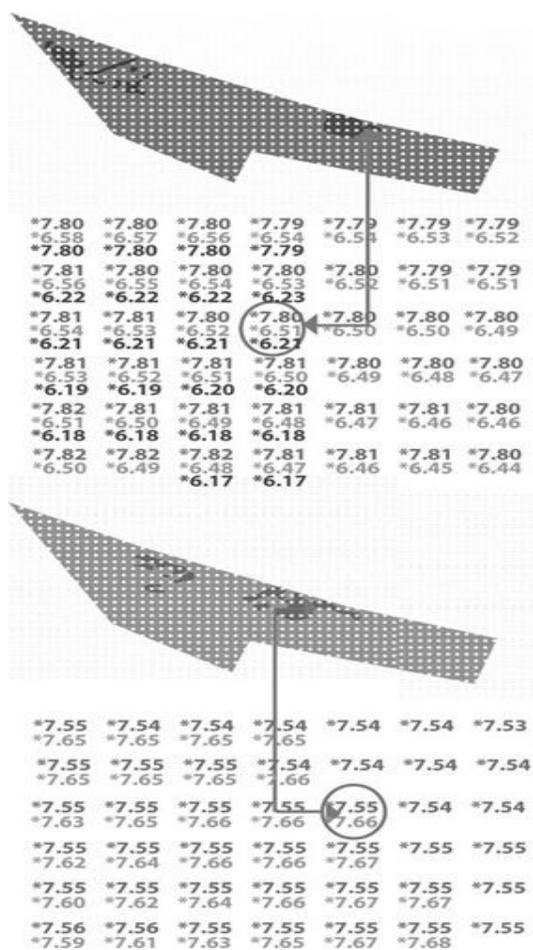


Fig. 5. Detalle de mallado y de archivo de resultados, en casos de sobre excavación (sup.) y sobre relleno (inf.)

Con los datos de la cotas previamente mencionadas y por las condiciones iniciales del proyecto el auditor podrá calcular el valor de CPT = 6.30 (ver ecuación 5) y determinar que en ese punto ha ocurrido una sobre excavación pues se ha llegado hasta una cota de 6.21, lo que representa un volumen de 0.36 m³. Análisis similares se pueden realizar en los casos de sobre relleno. El volumen en exceso o déficit

de excavación o relleno incidirá en el monto final a pagar y para determinar dicho costo se realiza la sumatoria de los volúmenes de cada celda multiplicado por la relación (costo,\$) m³ que ha sido contratado.

4 Discusión y Conclusiones

El uso del software AMT en el cálculo del volumen de movimiento de tierra de un proyecto de obra civil en sus diferentes etapas, puede ser una herramienta de utilidad tanto para el contratista como para el fiscalizador. AMT permite determinar las desviaciones que ocurren en el proceso poniendo a disposición información georeferenciada de los puntos donde se ha producido sobre excavación sin clasificar, sobre relleno con material de préstamo local, déficit de relleno o de excavación y así poder corregirlo oportunamente.

El sistema desarrollado utiliza un modelo de interpolación y cálculo de volúmenes en 3D, actualmente se está realizando un refinamiento del mallado en los contornos lo que permitirá evitar la generación de distorsiones en los mallados por triangulación de Delaunay e incrementar la precisión del cálculo de volúmenes mediante el control de los datos de entrada, lo que conlleva a justificar posteriores recomendaciones en los procesos de toma de medidas topográficas.

Con AMT se ha desarrollado una guía óptima en la selección de puntos para la validación mediante el empleo de calicatas, evitando la selección basada en la intuición, la aleatoriedad o la necesidad de requerir personal de mucha experiencia. El control de los volúmenes de tierra generados o requeridos implica el control de costos y gastos de la primera etapa de una construcción, por lo tanto, el desarrollo de este sistema contribuirá a mejorar dicha sinergia.

5 Agradecimiento

Se hace especial agradecimiento al SENESCYT Proyecto Prometeo-Ateneo, Guayaquil Ecuador.

Referencias

S. Chapra, R. Canale, Numerical Methods for Engineers, The McGraw-Hill Companies Edit, 2010, United States of America, 6th Edition.

S. Chapra, R. Canale, Applied Numerical Method with Matlab for Engineers and scientist, The McGraw-Hill Companies Edit, 2012, United States of America, Third Edition.

T. Henning, B. Clothier, G. Heoworth, D. Yudovich, Professional Access 2013 programming, Wrox Editorial, 2013, United States of America.

M. Collins, Pro Access 2010 Development, Apress Editorial, 2010, United States of America.

P. Nowak, P. Gilbert, Movimiento de tierras: Una guía, Editorial ICE, 2015, Edición 2.

S. Ormeño, An Introduction to the spectroscopy of the Earth's surface, ETSI Topografía, 2011, Madrid España.

G. Paul and B. Houman, Delaunay Triangulation and Meshing, E-T.S. Enginyers de Camins UPC-Hermes, 1998, Barcelona España.

R. Osses, Factores incidentes en la determinación de costos de Movimiento de Tierras, Universidad de Chile, 2008, Santiago de Chile, Chile.

D. Paul, M. Plopeanu, D. BADEA, Comparative study regarding the methods of interpolation, Recent Advances in Geodesy and Geomatics Engineering, 2013, vol. 20, num. 221, pag. 52-59, ISBN 978 960 474 335 3.

A. Castillo, J. Barrios, J. Montilva, D. Rivero, Conceptualización del proceso de implementación de software: perspectivas ágil y disciplinada, Revista Ciencia e Ingeniería, Universidad de Los Andes , 2010, vol. 31, Num. 3, pag. 143,152, ISSN 1316 7081, Mérida, Venezuela.

Y. Ji and A. Borrmann, E. Rank, J. Wimmer, W. A. Gunthner, An Integrated 3D Simulation Framework for Earthwork Processes, 2008, Nottingham University Press Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engin.

Recibido: 01 de junio de 2016

Aceptado: 14 de noviembre de 2016

Galarza, John: Ing. Civil, MSc. Ing. Ambiental, Prof. de la UG Fac. de Cs. Matemáticas y Físicas, Fiscalizador de obras civiles y asesoría en construcción, johgaljr@hotmail.com

Andrade Ciro: Ing. Civil, Esp. en Proy. de Desarrollo Educ. y Soc., MSc en Docencia Universitaria, Prof. de la UG en la Fac. de Cs. Mat. y Físicas, ing.ciro.andrade@gmail.com

Vélez Vélez: Ing. civil, MSc en impactos ambientales y educación superior? Prof. Fac. de Arq. y Urbanismo de la Univ. de Guayaquil, eva.veleza@ug.edu.ec

Olga Roa: Ing. Mecánico, Esp. en perf. y produc. de pozos petroleros Univ. del Zulia, MSc Mét. Num. para cálculo y diseño en Ing. Univ. Pol. de Cataluña, PhD en Ing. Civil Univ. Pol. de Cataluña

