



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE
VOLÚMENES DE MATERIALES EN LA
EJECUCIÓN DE EXCAVACIONES Y LLENOS DE
LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON
TUBERÍA**

Autor(es)

Santiago Orozco Londoño

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería Civil

Medellín, Colombia

2020



Programa para el cálculo de volúmenes de materiales en la ejecución de excavaciones y llenos de las actividades relacionadas con tubería.

Santiago Orozco Londoño

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesores.

Sebastián Sepúlveda Cano. Ingeniero Civil
Juan Felipe Montoya Salazar. Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería Civil
Medellín, Colombia
2020

Tabla de contenido

1	RESUMEN	4
2	INTRODUCCIÓN	4
3	OBJETIVOS	5
3.1	Objetivo general.....	5
3.2	Objetivos específicos	5
4	MARCO TEÓRICO	5
4.1	Esponjamiento	5
4.2	Compactación	6
4.3	Python.....	9
4.4	Excavaciones y llenos.....	9
5	METODOLOGÍA	13
6	RESULTADOS Y ANÁLISIS	14
6.1	Reducción de materiales	14
6.2	Características geométricas de las excavaciones	15
6.3	Desarrollo del código	16
6.4	Tipos de excavaciones y llenos	21
6.5	Validación del código	26
7	CONCLUSIONES	29
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
9	ANEXOS	31
9.1	Programa en Python	31
9.2	Manual de usuario	35

PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIALES EN LA EJECUCIÓN DE EXCAVACIONES Y LLENOS DE LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON TUBERÍA.

1 RESUMEN

En la empresa Ingeniería y contratos, se han desarrollado gran cantidad de obras relacionadas con la instalación, reparación y mantenimiento de alcantarillados, acueductos, entre otros. En las cuales se realizan grandes movimientos de tierras que posteriormente son llenados con material de préstamo o cantera. El problema se basó en los desperdicios y reprocesos que se estaban generando por el mal cálculo de las cantidades a trabajar. Además, se analizaron los procedimientos que estaban relacionados a esta actividad para identificar otros inconvenientes que se pudieran presentar.

Por este motivo se decidió crear un programa que permitiera al usuario (Encargados, Maestros, Tecnólogos e Ingenieros) de la obra, calcular las cantidades de los materiales a excavar al igual que la de los llenos. Para evitar los reprocesos, contratiempos y sobre costos relacionados al mal cálculo de estos.

Durante la ejecución del proyecto se identificaron algunos inconvenientes relacionados a este proceso, que de una u otra forma repercutían en el resultado final, estos se pudieron mejorar y se logró obtener mejores resultados de los esperados. Además se logró una reducción de cuarenta minutos diarios en el uso de las volquetas. Respecto a la cantidad de material se obtuvo un 80% menos de desperdicios, se pudo haber disminuido más este valor. Pero no estaba en el alcance de este proyecto.

2 INTRODUCCIÓN

Ingeniería y contratos es una empresa con más de 30 años de experiencia a nivel nacional, la cual presta servicios de ingeniería para la construcción, entre los cuales se encuentran las obras de infraestructura urbana y geotécnica. Además, el alquiler de equipo y maquinaria para la construcción, adecuación de terrenos, movimiento de tierras y estabilización de taludes. También presta el servicio de redes de acueducto y alcantarillado, tecnologías sin zanja para la construcción y rehabilitación de tubería.

En especial la empresa ha desarrollado en sus últimos años una gran cantidad de proyectos relacionados con redes de acueducto y alcantarillado. Algunos de suma importancia para la ciudad como lo son los proyectos Centro Parrilla, Picacho entre otras obras. En estos proyectos se ha tenido la necesidad de realizar llenos y excavaciones en un alto porcentaje, lo cual convierten estas actividades en fundamentales y de gran importancia para la empresa. Por lo tanto, en los últimos años se han hecho seguimiento a estas actividades para tener un mejor registro y control. Con la intención de disminuir los errores relacionados con los llenos y excavaciones. Actividades que no se hacían antes y a las que no se le daba tanta importancia.

En especial el proyecto Interconexión sur que se está ejecutando, el cual es una obra para el grupo EPM con el fin de responder al crecimiento de la población y al desarrollo urbanístico del sur del Valle de Aburrá, con el cual se construirá la red

primaria de acueducto que interconectará al municipio de Caldas con la red de EPM y ampliará el servicio de acueducto en las zonas de expansión, La Tablaza y Pueblo Viejo, en el municipio de La Estrella.

En este proyecto, se ha percibido un gran problema respecto a las actividades que se relacionan con las cantidades de material con que se trabaja. Debido a que los encargados de obra en su mayoría desconocen la forma correcta de calcular estas cantidades y se basan en su pericia y experiencia para decidir, muchas veces equivocándose por exceso y otras por falta de material. Por esta razón se afecta significativamente los costos asociados a estas actividades y a la mala ejecución de los procedimientos. Por lo que al utilizar diferentes tipos de materiales debido a las condiciones estipuladas por el contratante, se deben emplear los materiales indicados a las profundidades establecidas. Ya que al no tener las cantidades necesarias de cada material se ve afectado el cumplimiento de los requerimientos, utilizando muchas veces materiales en las proporciones que no son o retrasando los llenos esperando volquetas con el material indicado.

Este problema a veces se soluciona con la presencia de personal administrativo como ingenieros o tecnólogos, que poseen la capacidad para realizar los cálculos de una forma correcta, pero este personal no siempre se encuentra en los frentes de trabajo por lo cual el problema persiste en la obra. A raíz de lo anterior y conociendo la importancia de estas actividades se decide proponer una herramienta informática para el cálculo de movimiento de tierras con el fin de solucionar esta gran problemática que se presenta en la obra para mejorar los procedimientos. Asimismo disminuir los sobre costos que se vienen presentado, además de facilitar los cálculos de estas cantidades a los ingenieros, tecnólogos y demás personal de la obra.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Crear un programa para el cálculo de volúmenes de excavaciones y llenos en los proyectos ejecutados por Ingeniería y Contratos S.A.S.

3.2 Objetivos específicos

- Conocer los fundamentos técnicos y teóricos que rigen los procesos de llenos y excavaciones.
- Reconocer procesos y la metodología aplicada en las excavaciones y llenos ejecutados por la empresa.
- Desarrollar una herramienta informática que controle y permita el seguimiento de las actividades de movimiento de tierras durante la ejecución de obra.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Esponjamiento

Cualquier suelo al ser excavado para efectuar su explanación, sufre cierto aumento de su volumen. Este incremento de volumen, expresado en porcentaje del volumen in situ, se llama esponjamiento. Si el material se emplea como lleno puede, en

general, recuperar su volumen e incluso puede reducirse (volumen compactado). Para la cubicación del material de la excavación, se considera su volumen antes de ser excavado; en ningún caso debe ser tenido en cuenta el volumen transportado de material, que es mayor debido precisamente al esponjamiento referido. Cuando se calcula la cantidad de material, debe tenerse en cuenta el esponjamiento que sufren las tierras, ya que puede existir una variación volumétrica. Es por esto que se debe considerar cuando se deja material de acopio en obra para efectuar llenos posteriores, o bien al realizar la explanación de un terreno, debemos tomar cuenta del esponjamiento de. Puesto que de lo contrario podríamos encontrarnos con falta de material o bien con un exceso de él que obligara a afrontar costos adicionales.

4.2 Compactación

La compactación es el proceso mediante el cual se le aplica energía al suelo para disminuir los espacios vacíos, este proceso se hace para obtener una mejor densidad y capacidad portante. Para realizar este proceso, se debe controlar la humedad del suelo, la cual debe estar muy cerca a la humedad óptima que determine el laboratorio. El material deberá ser compactado con el grado que fije el laboratorio. En la Tabla1 se pueden evidenciar los coeficientes de esponjamiento y contracción de algunos materiales que se encuentran en los suelos tropicales, estos coeficientes nos indican el porcentaje por unidad que se incrementaría o se reduciría un material al ser compactado o excavado.

Tabla1. Coeficientes de esponjamiento y contracción. Tomado y modificado de Andrade y Ramírez, (2009).

Material	Esponjamiento	Contracción
Arena y grava limpia	1.07 a 1.15	0.93 a 0.87
Tierra y grava limpia	1.09 a 1.18	0.92 a 0.85
Capa vegetal	1.11 a 1.20	0.90 a 0.84
Tierra común	1.20	0.84
Marga arenosa	1.18	0.83
Marga arcillosa	1.25	0.80
Tierra margosa	1.20	0.84
Lodo	1.24 a 1.35	0.81 a 0.74
Arcilla con arena y grava	1.30 a 1.45	0.77 a 0.69
Arcilla blanda y fiabile densa	1.35 a 1.55	0.74 a 0.75
Arcilla dura tenaz	1.42 a 1.50	0.70 a 0.67
Roca fiabile blanda	1.62	0.62
Roca dura muy partida	1.58	0.65
Roca dura pardita en Grandes trozos	1.98	0.50
Caliche	1.20	0.92

Para la elaboración de la herramienta informática se realizarán esquemas en los cuales se indicarán las variables que se le pedirán al usuario. Además se utilizarán diversas ecuaciones para el cálculo de volúmenes como lo son cilindros, tronco conos o prismas trapezoidales, como el que se explica a continuación. En la Ilustración 1 se puede observar una sección típica de una brecha que se presenta en la obra, la cual tuvo que ser excavada y posteriormente se llenará con las indicaciones del contratante.

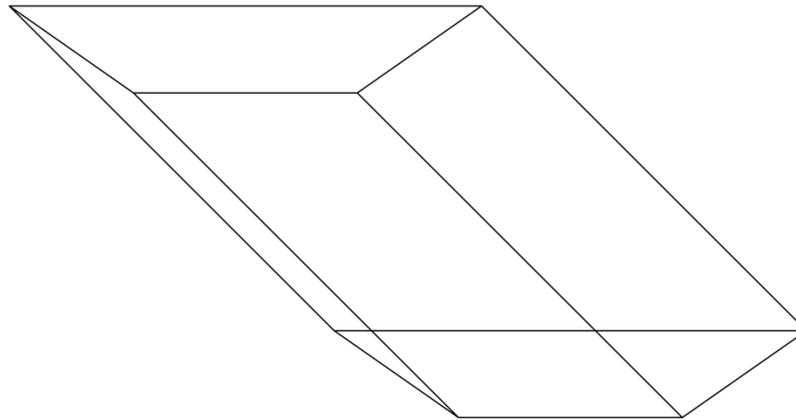


Ilustración 1. Sección típica trapezoidal.

Las siguientes ecuaciones permiten hallar el volumen de un prisma trapezoidal.

$$\text{Ecuación 1. } V_p = A_t * L$$

$$\text{Ecuación 2. } A_t = 0.5 * (b_1 + b_2) * h$$

Donde:

V_p = Volumen del prisma

A_t = Área del trapezoide

L = Largo del prisma

h = Altura

b_1 = Base menor

b_2 = Base mayor

En la Ilustración 2 se aprecia la Retro cargadora, esta máquina se mueve mediante ruedas y cuenta con un equipo de carga frontal y otro de excavación trasero, que pueden ser utilizados alternativamente. Esta también sirve como excavadora, la máquina excava el suelo mediante un movimiento de la cuchara hacia la máquina y eleva, recoge, transporta y descarga materiales. Cuando se emplea como cargadora, carga o excava mediante su desplazamiento y el movimiento de los brazos y eleva, transporta y descarga materiales. Su campo habitual de aplicación son las operaciones de carga y transporte a distancias cortas y abertura de zanjas.



Ilustración 2. Retro cargadora.

En la Ilustración 3 se muestra un mini cargador, el cual se utiliza para cargar, transportar, entre otras funciones. Una de sus grandes ventajas es su pequeño tamaño, y es precisamente esta cualidad la que determina su importancia y funcionalidad en la obra. Una de sus limitantes es su velocidad, la cual no supera los 10 km/h. Sin embargo, requiere ser operado por un experto que posea la capacidad de coordinar el movimiento de la pala y distribuir el peso. En el sector de la construcción se utiliza en tres actividades concretas: carga y descarga de materiales, demoliciones de estructuras pequeñas de concreto, compactación y nivelación de superficies. Es de gran utilidad en la obra, ya que gracias a su pequeño tamaño puede utilizarse en espacios reducidos. Mientras que las máquinas más grandes no podrían ser utilizadas o generarían un sobre costo.



Ilustración 3. Mini cargador.

Las volquetas son de gran uso en las obras y en especial aquellas que requieran movimientos de tierras, ya sean para excavaciones o llenos. Como se aprecia en la Ilustración 4, una volqueta doble troque, la cual tiene capacidad aproximada de $14 m^3$, esta es uno de los tipos de volquetas que existen. Sin embargo, hay otro tipo de volquetas que son las sencillas las cuales tienen la misma forma. Pero tienen una capacidad inferior, entre 7.5 y $9 m^3$. En la empresa ingeniería y Contratos S.A.S se cuenta con ambos tipos de volquetas y su uso depende de las condiciones de la actividad.



Ilustración 4. Volqueta doble troque.

4.3 Python

Python es un lenguaje de programación de propósito general, se caracteriza por su simplicidad y rapidez de desarrollo. Se utiliza para hacer aplicaciones, páginas Web. Pero también para otro tipo de programas como el que se creó en este proyecto. Posee la facilidad de no necesitar que se compile el código fuente u original para permitir su ejecución. Además se puede desarrollar en múltiples plataformas como Unix, Windows y Mac. Por otra parte tiene una gran variedad de librerías, cada una para las necesidades específicas del programador. Python es el tercer lenguaje de programación más usado en el mundo y uno de sus grandes puntos a favor es que es gratuito. Estas son algunas empresas que utilizan Python son Yahoo, Google, Walt Disney, la NASA, entre otras.

4.4 Excavaciones y llenos

En las excavaciones y llenos para la instalación o reparación de tubería, los suelos sueltos deben ser compactados para aumentar sus pesos unitarios. La compactación aumenta las características de resistencia de los suelos, incrementando de este modo la capacidad de carga para los elementos construidos sobre ellos. En el proceso de la compactación del suelo generalmente se utilizan diferentes tipos de rodillos o equipos manuales de compactación. En las excavaciones de la obra se presentan diferentes tipos de suelos, un gran porcentaje de estos se reutiliza. Ya sea en la conformación de terrazas o como material de

lleno en otras excavaciones. A continuación se mencionan algunas de las condiciones que se deben cumplir con obligatoriedad en los procesos de excavaciones.

- Antes, durante y al finalizar la excavación debe estar presente una persona del área de SST la cual está pendiente de los procedimientos y la seguridad de los trabajadores. Además, es la encargada de abrir y cerrar permisos para radicar las actividades.
- Todo el personal que se encuentre realizando esta actividad debe tener los siguientes elementos de seguridad como lo son, uniforme de la empresa, casco de seguridad, guantes de cuero, botas de seguridad. También el frente de obra debe contar con un botiquín de primeros auxilios y una persona capacitada para realizar dicho procedimiento en caso de emergencia. Además, todo el personal debe contar con curso de alturas, ya que las excavaciones siempre superan el metro y medio.
- En caso de lluvias fuertes, se debe suspender las labores que se estén realizando sin ninguna excepción, en especial si la actividad es dentro de la brecha.

Una excavación o movimiento de tierra es el conjunto de intervenciones a realizarse dentro de un terreno para el cumplimiento de un objetivo. Estas intervenciones pueden realizarse en forma mecánica o manual, dependiendo de las condiciones del suelo, las dimensiones de excavación u otros aspectos para tener en cuenta como la presencia de redes existentes sin localización.

La primera actividad que se hace antes de realizar una excavación es la programación de esta, en la cual debe quedar claro el número y tipo de maquinaria a utilizar. Además de su acceso y libre movilidad dentro de la zona de excavación, un área limitada restringe el uso de maquinaria grande y a su vez baja los rendimientos de excavación. Posteriormente se replantea y se ubica la zona a intervenir, este consiste en la demarcación con pintura del ancho y largo de la zanja a excavar.

Para iniciar la excavación en ocasiones fue necesario demoler o por lo menos picar el tipo de pavimento que existiese, esto con el fin que la excavadora pudiera levantarlo sin ningún problema. Después el operador comienza la excavación ganando profundidad hasta llegar cerca a la profundidad de corte estipulada por los topógrafos. Acto seguido se desplaza para empezar otra sección de la excavación hasta llegar a una altura similar a la anterior. Posteriormente extiende el brazo de la máquina para poder llegar con el balde a la sección anterior y llegar a la profundidad final de excavación en esa ubicación, todo este proceso se hace para tener una mejor maniobrabilidad en el cargue de las volquetas. Además de dejarle la menor cantidad posible de excavación a los trabajadores, situación que no se podría si no se sigue el procedimiento antes mencionado.

La topografía se encarga de indicar los bordes de la excavación. Además siempre está pendiente del cumplimiento de los niveles y pendientes que se deben llevar en el proceso. Ya que una sobre excavación produce un lleno extra no estipulado, Además un costo adicional, sin mencionar el tiempo perdido no remunerado por parte del contratante. Este proceso se repite continuamente hasta llegar al final de la excavación tanto horizontal como verticalmente, para este procedimiento es muy

importante la coordinación entre el operador de la excavadora y los conductores de las volquetas. Ya que de nada sirve el funcionamiento de la máquina excavadora si no hay volqueta para trasladar el material excavado al acopio asignado. Tampoco el caso contrario en el cual haya varias volquetas paradas porque el rendimiento o las cantidades a excavar sean muy bajas. De ahí que una buena programación es la clave para obtener excelentes resultados tanto en tiempo como en dinero.

Al finalizar la excavación se procede a chequear las cotas y las pendientes para poder instalar la tubería, posteriormente se verifican que las cotas indicadas en los planos coincidan con las que quedo la tubería instalada, tanto en profundidad como en línea horizontal. Después se comienza el lleno, para este procedimiento se utilizan otros tipos de máquinas como las cargadoras y aquellas que suministran energía al suelo para su compactación. Es decir, los Vibrocompactadores, rodillos, canguros, entre otros. En la Ilustración 5 se aprecia un rodillo compactador. El procedimiento se basa en colocar el material de préstamo que traen las volquetas en la brecha según las indicaciones estipuladas previamente. Las cuales pueden variar dependiendo de la zona y el nivel freático. Características de las cuales se hablara a lo largo del informe.



Ilustración 5. Rodillo compactador.

El lleno se debe hacer por capas, el espesor de estas varía dependiendo de la maquinaria o herramienta a utilizar. Por ejemplo, las capas no deben ser superiores a 40 cm si el ancho de la excavación es menor a 1 m. Ya que en este espacio no cabe maquinaria pesada y la compactación se debe realizar con equipos menores como canguros, ranas o Benitin, en la Ilustración 6 se observa un canguro. Puesto que estos equipos son especiales para estas excavaciones. Pero al no ejercer tanta energía en el suelo es necesario que las capas no sean muy gruesas para poder compactar adecuadamente. Debido a que si estas superan los 50 cm es muy probable que el material no quede con el porcentaje de compactación necesario.



Ilustración 6. Canguro o Apisonador.

Para brechas mayores a 1 m es posible utilizar otro tipo de maquinaria como los Vibrocompactadores el cual se aprecia en la Ilustración 7, rodillos o equipos como el Benitin, el cual también sirve para anchos de excavación menores a 1 m. De ahí que en estos tipos de brechas las capas pueden ser de un espesor mayor. Ya que la energía suministrada es mucho mayor que con otro tipo de equipos, con estas máquinas se alcanza un rendimiento mucho mayor. Debido a que las dimensiones de las máquinas permiten un mayor avance y cobertura en un menor tiempo.



Ilustración 7. BOMAG Vibro compactador.

Para esta actividad es muy importante conocer la cantidad real a llenar. Ya que esto permite realizar una programación adecuada de los equipos a utilizar como lo son las volquetas o maquinaria amarilla. Además, permite prever el tiempo a emplear

en la actividad específica del lleno. En este se debe tener presente el número de pasadas necesarias el cual es función del equipo a utilizar, ya sea el rodillo o canguro. Puesto que cada máquina produce una cantidad de energía específica y esta es diferente en cada uno de los equipos. Por consiguiente el número de pasadas necesarias para obtener el porcentaje de compactación requerido puede variar. Este porcentaje se encuentra entre el 90 y el 100% dependiendo del material con el que se va a llenar, la zona donde se encuentre la excavación y los requerimientos del contratante o del INVÍAS. Los cuales están fundamentados en el uso del terreno a llenar. Ejemplo, si es una vía principal, vía secundaria o terciaria. También se basa en las condiciones hidráulicas del terreno como el nivel freático. Además de estructuras vecinas al lleno, como muros de contención, taludes, cimentaciones, entre otras.

5 METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto fue necesario identificar en campo los problemas y situaciones del día a día que se presentaban frente a estas actividades. De igual forma comprender los procedimientos que requería cada actividad y conocer la maquinaria que se utilizaba, su funcionalidad y sus rendimientos. También la recopilación de información relacionada con imprevistos o situaciones reiterativas que generaban condiciones desfavorables para el proceso. Esta información se obtenía de los encargados, los auxiliares de ingeniería e ingenieros sobre actividades anteriores en las cuales se presentaban inconvenientes como retrasos en el proceso de excavación o falta de material para terminar las actividades, entre otros.

Posteriormente conociendo las problemáticas y dificultades se ampliaron los conocimientos, con la literatura existente (maquinaria utilizada en los procedimientos, capacidades y rendimientos, coeficientes de esponjamiento y compactación) relacionada con los procesos de excavaciones y llenos para tener un concepto más amplio, esto con el fin de identificar variables y ecuaciones que se tuvo en cuenta en el programa.

Después tener toda esta información se procedió a programar en el lenguaje de programación elegido, con un orden lógico y se tuvo en cuenta parámetros y variables como las longitudes, los espesores de cada material, el número de tubos, el diámetro de estos y los coeficientes asociados a cada material a utilizar en los procedimientos a ejecutar.

Este procedimiento fue cíclico y acumulativo ya que semanalmente se aumentaba las variables antes mencionadas y que se debían incluir en el programa, para que este fuera funcional, estas se implementaban en el programa cada cuatro semanas. Se mejoró el programa a medida que se iba ejecutando tanto funcional como estéticamente, gracias a las retroalimentaciones que se hacían constantemente, asegurando que fuera muy claro y ameno para el usuario.

Para finalizar se validó el programa utilizando casos antiguos del mismo procedimiento en excavaciones de brecha con tubería y diferentes materiales en el lleno, bien elaborados. Los cuales se compararon y debían ser iguales o muy similares a los resultados obtenidos mediante el programa. Los resultados obtenidos en la Tabla 2 comprueban la validez y funcionalidad del programa.

Además se socializo en la obra con las personas directamente relacionadas al programa para familiarizarlos con este, se les explico los beneficios directos que este traería a la obra, posteriormente se resolvieron las dudas.

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Reducción de materiales

Se pretendía aportar a través del desarrollo del programa para el cálculo de volúmenes de excavación y lleno, un mejor registro de las actividades realizadas reduciendo contratiempos que repercuten en la economía de la empresa. Con el fin de mejorar el control de los materiales a utilizar. Además de una forma eficiente, reduciendo los desperdicios o viajes no necesarios que conllevan a sobre-costos. Se disminuyeron notablemente las perdidas por mal cálculo de los materiales, tanto por exceso como por sobrecostos al transportar cantidades inviables, muy inferiores a la capacidad de las volquetas. Además, se mejoró significativamente el control y el registro del material utilizado en las actividades cotidianas de la obra, no solo del material de préstamo. También el excavado de las brechas el cual posteriormente se destinaría para el lleno de unas terrazas. En la Tabla 2, se aprecia la cantidad de metros cúbicos que se pedían en exceso durante los meses anteriores y posteriores a la implementación del programa la cual fue a finales de febrero. Cabe resaltar que los metros cúbicos son principalmente de base granular la cual es la última capa que se dispone en los llenos y en la que se presentaban mayores percances.

Tabla 2. Cantidad de material extra por mes.

Mes	Cantidad de material extra (m^3)
Julio	28
Agosto	24
Septiembre	29
Octubre	23
Noviembre	25
Diciembre	30
Enero	32
Febrero	30
Marzo	3
Abril	2
Mayo	2
Junio	3

6.2 Características geométricas de las excavaciones

En la Ilustración 8 se aprecian las vistas superior y frontal de las excavaciones que se presentan normalmente en la obra, en la cual se pueden diferenciar las variables que se tuvieron en cuenta para los cálculos de las cantidades de materiales a utilizar, todas estas medidas se modifican a diario ya que las dimensiones de las excavaciones cambian constantemente. De la misma forma que las condiciones de los llenos las cuales varían dependiendo del nivel freático, aumentando la altura del triturado el cual tiene un tamaño nominal entre $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada, o cambiando el material intermedio de arenilla a sub-base granular. La gran diferencia entre estos materiales es el porcentaje de finos que contienen, la sub-base no contiene más del 10 por ciento, caso contrario a la arenilla, la cual era mucho más fina. Además la composición de la sub-base granular en un gran porcentaje está entre los 4.75 y 19 mm a diferencia de la arenilla la cual en su totalidad está por debajo de los 4,75 mm. La base granular tiene una composición muy similar a la de la sub-base. Alto porcentaje de material granular pero con un porcentaje más bajo de finos que la sub-base.

Por lo tanto era necesario calcular de otra forma las cantidades, con el programa se evita los reprocesos o posibles errores que se puedan presentar. También se tiene el número de tubos y el diámetro de ellos, el cual varía dependiendo de la actividad a desarrollar ya sea instalación de acueducto o alcantarillado. Los diámetros más utilizados son de 32, 20, 16 y 12 pulgadas, toda esta información es necesaria para posteriormente calcular el volumen.

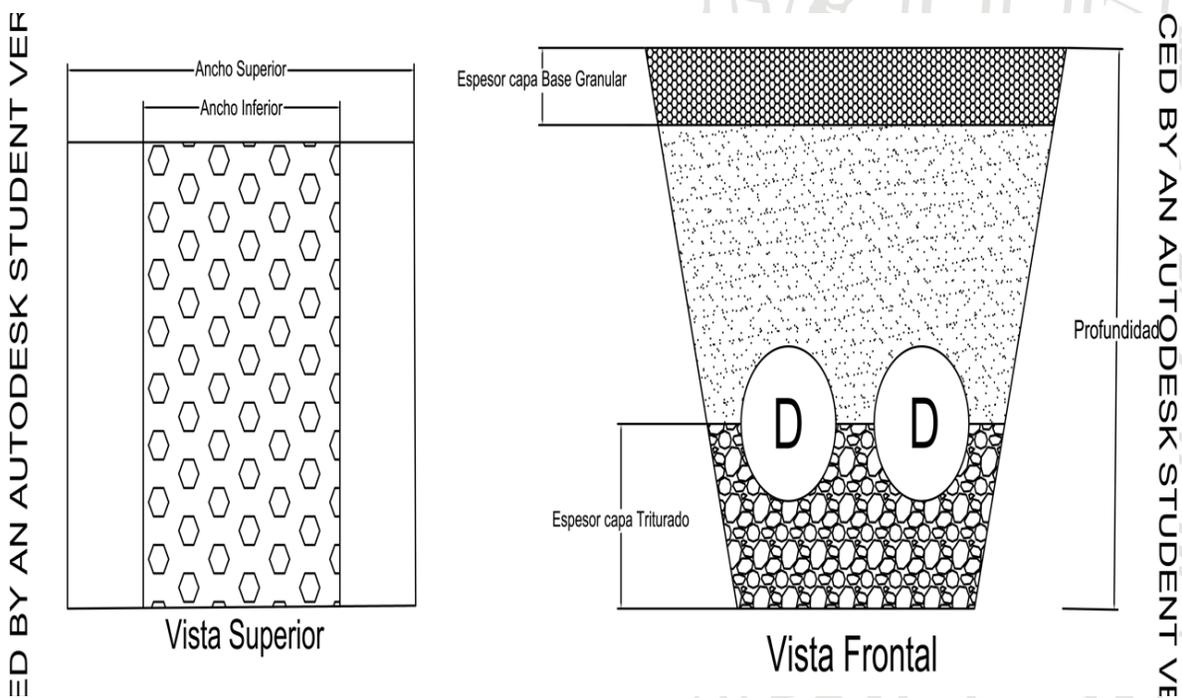


Ilustración 8. Sección típica de las excavaciones de la obra, vista frontal y superior.

Además se muestran los anchos variables que se presentan en las excavaciones (superior e inferior) esto convierte la excavación en una sección trapezoidal.

Posteriormente con estos anchos se halla el promedio, para después calcular el volumen. Sin embargo en ocasiones el ancho superior y el inferior son muy similares formando un prisma rectangular, en estos casos se trabajó con un solo ancho para el cálculo de las cantidades.

6.3 Desarrollo del código

En la Ilustración 9 se observa una ejecución típica del programa creado, donde se aprecia que el usuario tiene una gran cantidad de posibilidades para ingresar de acuerdo a las variedades de los anchos y profundidades, condiciones del lleno, ya sean relacionadas al nivel freático o al flujo vehicular que se presentan en la obra. Por consiguiente esto hace al programa 100% funcional y aplicable para las obras de la empresa Ingeniería y Contratos S.A.S en las cuales se instale, repare o se realice mantenimiento de tubería de acueducto o alcantarillado.

El nicho es un tipo de excavación especial, el cual se realiza cuando se necesita hacer una investigación para la identificación de redes existentes que no estén referenciadas en ningún plano. También se realiza cuando se requiere ampliar las dimensiones de la excavación, para poder realizar actividades dentro de la brecha. Ejemplo, si se debe soldar la tubería de acero, se necesita sobre excavar para que el soldador tenga libre movilidad por todo el perímetro del tubo.

La cota batea es la referencia del punto más bajo del tubo esta siempre debe ser menor que la profundidad de la excavación. Por otra parte la cota clave es la referencia del punto más alto del tubo, está siempre será igual a la cota batea más el diámetro del tubo.

La profundidad promedio es igual a la suma de la profundidad inicial y final de la excavación, dividido 2. Sin embargo si la excavación tiene pendiente constante el cual es el caso más común en la obra, basta con medir la profundidad de la excavación en la mitad de la longitud total. Se decidió trabajar con esta profundidad promedio para la facilidad de los usuarios y la practicidad del programa. Además para evitar múltiples errores por parte del usuario.

```

Este programa fue creado por Santiago Orozco
Oprima 1 si es solo la excavación, Oprima 2 si es con nicho: 1
Ingrese las dimensiones de la excavación en metros
Ingrese el ancho promedio de la excavación: 3
Ingrese el largo promedio de la excavación: 12
Ingrese la profundidad promedio de la excavación: 2.5
Oprima 1 si hay tubería, 2 si no hay tubería: 1
Ingrese el diámetro de la tubería en centímetros: 60
Ingrese la profundidad de la cota batea: 2.4
Ingrese el numero de tubos: 2
Ingrese las condiciones del lleno
Si el triturado es hasta medio tubo oprima 1
Si el triturado es hasta la cota clave oprima 2
Si el triturado sobrepasa la cota clave oprima 3
Si el triturado va a otra altura diferente a las anteriores oprima 4: 1
Ingrese el espesor en centímetros que debe tener la capa de base granular: 40
El volumen de triturado es de : 11.01 metros cubicos
El volumen de arenilla es de : 79.56 metros cubicos
El volumen de base granular es de : 18.0 metros cubicos
El volumen teorico del lleno es de: 83.21 metros cubicos
pero el real es de: 108.57 metros cubicos
fin del programa
*****
Ultima fecha de modificacion 11/07/20

```

Ilustración 9. Ejecución típica del programa desde un ordenador.

En el código se le pide al usuario que ingrese los siguientes datos, condiciones de la actividad, largo, ancho, profundidad, número de tubos, diámetro de los tubos. Sumado a esto las características del lleno, espesor de la capa de triturado, espesor de la capa de base granular todos estos datos varían dependiendo de la actividad (ya sea instalación, mantenimiento o reparación de alcantarillado o acueducto). Además el lugar en donde se vaya a realizar, la totalidad de los datos son de conocimiento del personal que va a utilizar el programa estos están pedidos de una forma acorde y amena. Cabe resaltar que esto se logró gracias a la interacción y las retroalimentaciones del programa que se tuvieron con el personal que lo manejaría. Con los valores de los datos anteriores ingresados y teniendo en cuenta el volumen de la tubería según el caso si hay o no, o dependiendo del diámetro de esta. Se procede a restarle dicho volumen al total, se calculan los volúmenes de excavación y de llenos, este procedimiento se aprecia mejor en la Ilustración 11.

El programa también calcula el área de la tubería en función de la altura ingresada, este es un pilar fundamental para los objetivos. Ya que por desconocimiento técnico del personal encargado esta medida era calculada a ojo o promediada como si fuera cuadrada. En consecuencia dicho error se ve más reflejado cuando las dimensiones de las excavaciones de un tamaño considerable. Posteriormente para el cálculo del volumen de la arenilla se hace la resta del volumen del triturado el cual se calcula dependiendo la información que haya ingresado al programa el usuario y del volumen de base granular. Este procedimiento se observa en la Ilustración 12.

La complejidad del programa es mínima, esto lo hace muy práctico ya que evita confusiones durante su uso, basta con correrlo, leer y responder la información que

este solicite en el orden que indica el programa. Además, solo se requiere poseer o descargar la librería Math. El programa se puede visualizar o utilizar en cualquier lector de Python o de lenguaje de programación, ya sea en un ordenador, dispositivo móvil o en Internet. Puesto que se utilizaron aplicaciones descargadas desde Google Play y no se presentó ningún inconveniente en las veces que se corrió el programa en los diferentes celulares. A continuación en la Ilustración 10 se aprecia la ejecución del programa en la aplicación Pydroid 3 descargada desde Google Play sin costo alguno.



```
← TAB _ ⋮
Este programa fue creado por Santiago Orozco
Oprima 1 si es solo la excavacion, Oprima 2 si es con nicho: 1
Ingrese las dimensiones de la excavacion en metros
Ingrese el ancho promedio de la excavacion: 3
Ingrese el largo promedio de la excavacion: 12
Ingrese la profundidad promedio de la excavacion: 2.8
Oprima 1 si hay tuberia, 2 si no hay tuberia: 1
Ingrese el diametro de la tuberia en centimetros: 80
Ingrese la profundidad de la cota batea: 2.7
Ingrese el numero de tubos: 2
Ingrese las condiciones del lleno
Si el triturado es hasta medio tubo oprima 1
Si el triturado es hasta la cota clave oprima 2
Si el triturado sobrepasa la cota clave oprima 3
Si el triturado va a otra altura diferente a las anteriores oprima 4: 1
Ingrese el espesor en centimetros que debe tener la capa de base granular: 40
El volumen de triturado es de : 11.97 metros cubicos
El volumen de arenilla es de : 88.92 metros cubicos
El volumen de base granular es de : 18.0 metros cubicos
El volumen teorico del lleno es de: 88.74 metros cubicos
pero el real es de: 118.89 metros cubicos
fin del programa
(Program finished)█
```

Ilustración 10. Ejecución del programa en dispositivo móvil.

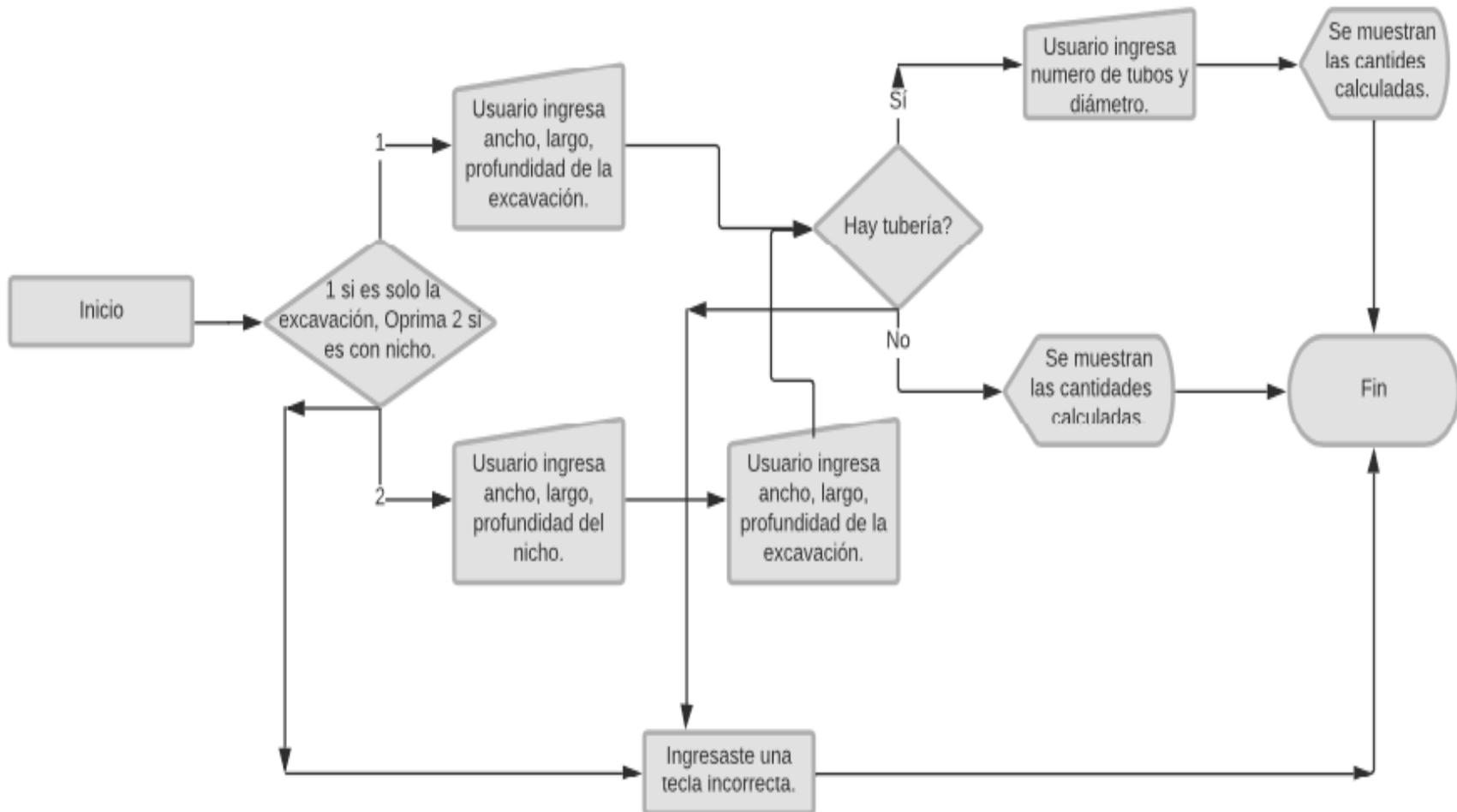


Ilustración 11. Diagrama 1 de conceptualización del código.

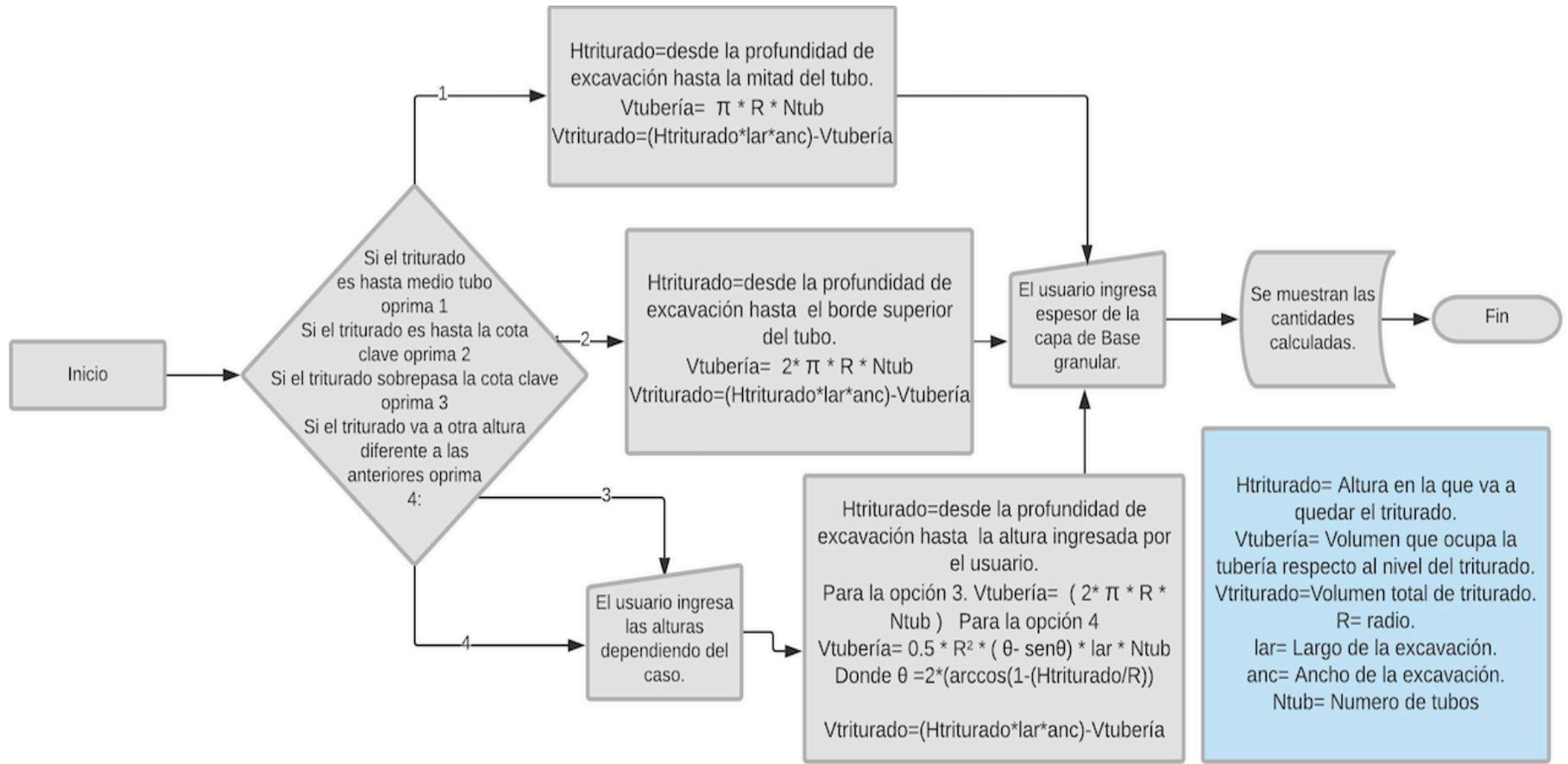


Ilustración 12. Diagrama 2 de conceptualización del código.

6.4 Tipos de excavaciones y llenos

Durante el periodo de prácticas se identificó que no se estaba cumpliendo con el primer paso requerido para las excavaciones ni tampoco con la debida programación de la maquinaria a utilizar en cada uno de los procedimientos, en especial en el número de máquinas que se necesitaban. Ya que al no saber la cantidad exacta de material a excavar no se calculaban el número de volquetas necesarias. Esta misma situación se presentaba para las excavaciones manuales en las cuales ya no era la maquinaria el factor para tener en cuenta sino el número de integrante de la cuadrilla y su conformación.

También se identificó que en los llenos no se preveían las cantidades a utilizar. Por consiguiente no se tenía una programación acorde a la realidad, muchas veces no se contaba con la maquinaria necesaria, como volquetas y excavadoras. En otros casos no era necesaria toda la maquinaria asignada a la actividad, generando así sobrecostos.

Se notaba el desconocimiento sobre la energía suministrada por cada equipo y se dejaba al ojo o a la pericia del encargado el grado de compactación del material. Por lo tanto este desconocimiento generaba excesos en el número de pasadas para asegurar una buena compactación, los cuales no siempre eran necesarias, generando así retrasos o sobrecostos. Sin embargo en otras ocasiones no se alcanzaba el porcentaje de compactación requerido, esta última situación era la más grave ya que al no ser tolerada por la interventoría, era obligatorio volver a compactar la zonas en las que no se cumplía con las especificaciones. Por consiguiente se generaban reprocesos y sobrecostos, ya que no eran remunerados. Además se atrasaba la programación general de la obra. A continuación se muestran diferentes tipos de excavaciones y se describen algunas de estas.

En la Ilustración 13 se aprecia un tipo de excavación muy común en la obra, la cual es la instalación de tubería de acueducto en acero de 32 pulgadas, para la instalación de este tipo de tubería es necesario que la excavación tenga un ancho mínimo de 1.3 m pero normalmente queda de 1.5 m. También se observa que el ancho de la excavación no es constante esto debido a los procesos constructivos o las condiciones del terreno.



Ilustración 13. Excavación para tubería de 32 pulgadas.

También se instala otro tipo de tubería en la obra, en la Ilustración 14 se puede observar la instalación de tubería de alcantarillado Novafort de 6 pulgadas, para esta tubería no se necesita una excavación tan ancha como en la anterior, basta con 50 cm pero por el tamaño del balde de la excavadora se hizo de 80 cm.



Ilustración 14. Inicio excavación para tubería de alcantarillado de 6 pulgadas.

En la Ilustración 15 se aprecia la continuación del proceso anterior, visto en la Ilustración 14, se observa a los trabajadores realizando el proceso de compactación del material con los apisonadores o mejor conocidos como canguros. Este procedimiento produce una reducción significativa en la cantidad real que se está llenando. Ya que la cantidad de volumen que se ingresa a la brecha no es la misma después de compactada, esto se debe al coeficiente de compactación y la energía aplicada por los canguros, la cual está considerada en el programa que se creó.



Ilustración 15. Proceso de lleno de excavación para tubería de 6 pulgadas.

En la Ilustración 16 se finaliza el proceso antes mencionado con la compactación de la capa de base granular, acorde a lo estipulado por el contratante. Debido a que los materiales a utilizar y los espesores de estos no son constantes y varían

dependiendo fundamentalmente del nivel freático y del flujo vehicular de la zona. Ya que a mayor presencia de agua en el terreno se necesita una altura superior de triturado para que funcione como filtro. También el flujo vehicular define el espesor de la última capa debido a los requerimientos del INVÍAS para evitar posteriormente deformaciones y fallas en el pavimento. Por el contrario, cuando no se presenta ninguna de estas condiciones la altura a la cual debe quedar el triturado es mucho más baja y se pueden utilizar otros materiales con diferentes espesores y características para el lleno. Sin embargo, estas variables también están contempladas en el programa que se creó.



Ilustración 16. Finalización lleno excavación para 6 pulgadas.

La retroexcavadora que se encuentra en la Ilustración 17 es de las máquinas más comunes en la obra y se utiliza para las excavaciones de la tubería de 32 pulgadas. Debido a que el tamaño de su balde permite un mayor rendimiento, diferente a otras que tienen un balde más pequeño que son ideales para zanjas más pequeñas o donde el acceso es limitado (calles angostas). Conjuntamente el cálculo generado por el programa fue de gran ayuda. Ya que permitió tener las cantidades precisas y disminuir la incertidumbre en los procedimientos para integrarlo con el rendimiento de la máquina. Por ende, se podía realizar de forma integrada y realista una programación de personal y volquetas puesto que con las cantidades precisas los tiempos de excavación y lleno eran calculados con el rendimiento de cada máquina y se conocía el tamaño de la cuadrilla y cantidad de maquinaria necesario. Por consiguiente, no se generaban sobrecostos y se podía distribuir mejor estos recursos en otros frentes de la obra.



Ilustración 17. Maquinaria típica para excavaciones de tubería de 32 pulgadas.

En la Ilustración 18 se observa los diferentes materiales que se utilizan para los llenos, que en este caso eran el triturado el cual iba por encima de la cota clave (parte superior de la tubería), geosintético el cual se utiliza para cubrir la tubería de acero del agua, todo esto debido a un nivel freático alto que se presentaba en el terreno. Posteriormente se llena con sub-base granular debido al alto tráfico de vehículos. Además del flujo de tracto mulas ya que la zona donde se instaló esta tubería es de bodegas comerciales, se evidencia en la ilustración el alto flujo mencionado. Después se llena con base granular para terminar el lleno, en este tramo de la instalación no se utilizó arenilla debido a las condiciones expuestas, el triturado por encima de la cota clave también está contemplado en el programa que se creó.



Ilustración 18. Proceso de lleno de excavación para tubería de acero de 32 pulgadas.

Sin embargo, no todas las excavaciones son para una sola línea de tubería, como se observa en la Ilustración 19 en la obra también hay tramos en los cuales las redes de impulsión y conducción son paralelas. Por consiguiente, en estos casos los movimientos de tierras son de gran magnitud, llegando a excavar en un día más de $140 m^3$, sin contar el coeficiente de esponjamiento el cual también está contemplado en el programa. Cabe resaltar que este movimiento fácilmente necesitaba más de 20 viajes de volquetas, lo cual requiere de una muy buena programación. Ya que la excavación debía estar terminada antes de la 1 pm debido a que esta actividad no tiene holgura en la obra.

En estos casos el uso del programa fue muy importante. Puesto que permitía tener las cantidades claras y programar las volquetas necesarias para cumplir el objetivo. Dado que estas son un recurso muy limitado en la obra, todo debía estar muy bien estipulado para no generar retrasos, el programa permitía esto. Sin embargo esta actividad tenía otro agravante el cual era que la vía se debía habilitar antes de las 6 pm. Por eso el tiempo era un factor determinante y evitar contratiempos por mal cálculo de material era fundamental.



Ilustración 19. Excavación para dos tubos de 32 pulgadas.

También habían actividades dentro de la obra en las que no se presentaban grandes volúmenes de tierra como se aprecia en la Ilustración 20, en la cual se realizó el mantenimiento de una tubería de 4 pulgadas. Pero en los que saber la cantidad exacta de material a utilizar se convertía en un factor determinante. Ya que evitaba contratiempos y permitía transportar los materiales al comienzo de la jornada lo cual liberaba algunas volquetas para realizar otras actividades en otros frentes. Por el contrario cuando se especula o se hace un mal cálculo, se debían pedir volquetas en el transcurso del día para traer más material o para recoger el sobrante que en ocasiones era demasiado.



Ilustración 20. Excavación para mantenimiento de tubería de 4 pulgadas

6.5 Validación del código

Para la validación del código se tomaron los siguientes valores.

Largo de excavación = 12 m

Ancho de excavación = 3 m

Profundidad de excavación = 3 m

Cota batea = 2.7 m

Condición del triturado = hasta cota clave

Número de tubos = 2

Diámetro de tubo = 80 cm = 0.8 m

Espesor de capa base granular = 40 cm = 0.4 m

Coefficiente de compactación o contracción de la base granular = 0.8

Coefficiente de compactación o contracción de la arenilla = 0.77

Coefficiente de expansión del suelo a excavar = 1.3

Se utiliza la Ecuación 1 para calcular el volumen teórico de excavación.

Ecuación 1. $V_{\text{Teórico de excavación}} = \text{largo} * \text{Ancho} * \text{Profundidad}$

$$V_{\text{Teórico de excavación}} = 12 \text{ m} * 3 \text{ m} * 3 \text{ m}$$

$$V_{\text{Teórico de excavación}} = 108 \text{ m}^3$$

Se utiliza la Ecuación 2 para calcular el volumen real de excavación.

Ecuación 2.

$$V_{\text{Real de excavación}} = V_{\text{Teórico de excavación}} * \text{Coefficiente de expansión del suelo a excavar}$$

$$V_{\text{Real de excavación}} = 108 \text{ m}^3 * 1.3$$

$$V_{\text{Real de excavación}} = 140.4 \text{ m}^3$$

Se utiliza la Ecuación 3 para calcular el volumen de tubería.

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 3. } V_{\text{tubería}} &= \text{Largo} * \pi * \frac{D^2}{4} * N_{\text{tubos}} \\ V_{\text{Tubería}} &= 12 \text{ m} * \pi * \frac{0.8^2}{4} * N_{\text{tubos}} \\ V_{\text{Tubería}} &= 6.03 \text{ m}^3 * 2 \\ V_{\text{Tubería}} &= 12.06 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Se utiliza la Ecuación 4 para calcular el volumen de triturado.

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 4. } V_{\text{Triturado}} &= 1.1 * \text{Ancho} * \text{Largo} - V_{\text{Tubería}} \\ V_{\text{Triturado}} &= 1.1 \text{ m} * 3 \text{ m} * 12 \text{ m} - 6.03 \text{ m}^3 \\ V_{\text{Triturado}} &= 27.54 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Se utiliza la Ecuación 5 para calcular el volumen teórico de base granular.

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 5. } V_{\text{Teórico base granular}} &= \text{Espesor capa granular} * \text{Ancho} * \text{Largo} \\ V_{\text{Teórico base granular}} &= 0.4 \text{ m} * 3 \text{ m} * 12 \text{ m} \\ V_{\text{Teórico base granular}} &= 14.4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Se utiliza la Ecuación 6 para calcular el volumen real de base granular.

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 6. } V_{\text{Real base granular}} &= \frac{V_{\text{Teórico de base granular}}}{\text{Coeficiente de contracción}} \\ V_{\text{Real base granular}} &= \frac{14.4 \text{ m}^3}{0.8} \\ V_{\text{Real base granular}} &= 18 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Se utiliza la Ecuación 7 para calcular el volumen teórico de arenilla.

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 7. } V_{\text{teórico arenilla}} &= V_{\text{total teórico}} - (V_{\text{teórico de base granular}} + V_{\text{triturado}} + V_{\text{Tubería}}) \\ V_{\text{teórico arenilla}} &= 108 \text{ m}^3 - (14.4 \text{ m}^3 + 27.54 \text{ m}^3 + 12.06 \text{ m}^3) \\ V_{\text{teórico arenilla}} &= 54 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Se utiliza la Ecuación 8 para calcular el volumen real de arenilla.

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 8. } V_{\text{Real arenilla}} &= \frac{V_{\text{Teórico de arenilla}}}{\text{Coeficiente de contracción}} \\ V_{\text{Real arenilla}} &= \frac{54 \text{ m}^3}{0.77} \\ V_{\text{Real arenilla}} &= 70.2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Se utiliza la Ecuación 9 para calcular el volumen teórico de lleno.

Ecuación 9.

$$\begin{aligned}V_{\text{Teórico de lleno}} &= V_{\text{Triturado}} + V_{\text{Teórico de arenilla}} + V_{\text{Teórico base granular}} \\V_{\text{Teórico de lleno}} &= 27.54 \text{ m}^3 + 54 \text{ m}^3 + 14.4 \text{ m}^3 \\V_{\text{Teórico de lleno}} &= 95.94 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Se utiliza la Ecuación 10 para calcular el volumen real de lleno.

$$\begin{aligned}\text{Ecuación 10. } V_{\text{Real de lleno}} &= V_{\text{Triturado}} + V_{\text{Real arenilla}} + V_{\text{Real base granular}} \\V_{\text{Real de lleno}} &= 27.54 \text{ m}^3 + 70.2 \text{ m}^3 + 18 \text{ m}^3 \\V_{\text{Real de lleno}} &= 115.74 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Donde:

V = Volumen

N_{tubos} = Número de tubos

D = Diámetro del tubo

A continuación se muestran los valores obtenidos manualmente:

$$V_{\text{Teórico de excavación}} = 108 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{real de excavación}} = 140.4 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Triturado}} = 27.54 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Real base granular}} = 18 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Real arenilla}} = 70.2 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Teórico de lleno}} = 95.94 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Real de lleno}} = 115.74 \text{ m}^3$$

En la Ilustración 21 se observan los resultados obtenidos para los datos del ejemplo de validación.

Este programa fue creado por Santiago Orozco
 LEA DETENIDAMENTE E INTRODUZCA LOS VALORES EN LA UNIDADES SOLICITADAS,
 UTILICE EL PUNTO PARA INDICAR DECIMAL Y SIGA EL ORDEN DEL PROGRAMA DE
 ARRIBA HACIA ABAJO
 Oprima 1 si es solo la excavación, Oprima 2 si es con nicho: 1
 Ingrese las dimensiones de la excavación en metros
 Ingrese el ancho promedio de la excavación: 3
 Ingrese el largo promedio de la excavación: 12
 Ingrese la profundidad promedio de la excavación: 3
 Oprima 1 si hay tubería, 2 si no hay tubería: 1
 Ingrese el diámetro de la tubería en centímetros: 80
 Ingrese la profundidad de la cota batea: 2.7
 Ingrese el numero de tubos: 2
 El volumen teorico de excavación es de: 108.0 metros cúbicos
 pero el real es de: 140.4 metros cúbicos
 Ingrese las condiciones del lleno
 Si el triturado es hasta medio tubo oprima 1
 Si el triturado es hasta la cota clave oprima 2
 Si el triturado sobrepasa la cota clave oprima 3
 Si el triturado va a otra altura diferente a las anteriores oprima 4:
 2
 Ingrese el espesor en centímetros que debe tener la capa de base granu
 lar: 40
 El volumen de triturado es de: 27.54 metros cúbicos
 El volumen de arenilla es de: 70.2 metros cúbicos
 El volumen de base granular es de: 18.0 metros cúbicos
 El volumen teorico del lleno es de: 95.94 metros cúbicos
 pero el real es de: 115.74 metros cúbicos
 fin del programa

 Ultima fecha de modificacion 11/07/20

Ilustración 21. Resultados ejemplo de validación.

Como se aprecia anteriormente los valores obtenidos manualmente y por medio del programa son iguales, lo cual sirve para comprobar la validez de este. Por otro lado se aprecian resultados que aparecen en el proceso manual pero que no se observan en los resultados del programa. Ya que estos valores no son de interés para el usuario pero si son necesarios para el cálculo de los valores finales.

7 CONCLUSIONES

- Se creó un programa que controla y permite el seguimiento de las actividades relacionadas con el movimiento de tierras durante la ejecución de las obras como lo son las excavaciones y llenos.
- Se implementó dicho programa con gran acogida por parte del personal técnico de la obra como directores, ingenieros residentes, entre otros. Además del personal encargado de la ejecución de las actividades, maestros de obra (encargados de obra, figura contractual para EPM). Cabe resaltar que esto se logró gracias a las diferentes capacitaciones personales que se les dio, ya que no fue posible agruparlos debido a los retrasos que tiene la obra.
- Se logró disminuir notablemente los sobrecostos por viajes extras, casi 3 viajes menos por semana, estos sobrecostos están asociados a las horas extras de la

maquinaria utilizada en este procedimiento (volqueta, retro cargadora o mini cargador). También el tiempo del personal que manejan dichas máquinas. Además del costo propio del material extra que no se utilizaba y que la mayoría de las veces se perdía en especial el material fino. Estos sobrecostos se debían al mal cálculo de las cantidades de material a utilizar.

- Se evidenció la importancia de un buen seguimiento sobre los materiales y las cantidades a ejecutar en las actividades de la obra. Ya que permiten un mejor control y una programación más acorde a la realidad con los rendimientos y las cantidades más exactas.
- Se pudo mejorar aún más los resultados esperados, con la identificación de otros factores propios del proceso de excavación y llenos, que afectaban de manera significativa el resultado final.
- Se validó el programa creado mediante la comparación de los resultados obtenidos manualmente y por medio de este, dando así confianza plena en el uso del programa.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez, M. A. (2003). *Qué es Python*. <https://desarrolloweb.com/articulos/1325.php>

PROGRAMO ERGO SUM. (2020). www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/244-iniciacion-a-python-en-raspberry-pi/que-es-python

Andrade, G., & Ramirez, P. (2009). *Volumenes caminos [ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL]*. <https://es.slideshare.net/johanaferrelgallegos/volumenescaminos2>.

Retrocargadora. (2020). victoryepes.blogs.upv.es/tag/retrocargadora

Minicargador. (2020). www.imcotecmaquinaria.cl/

Ingeniería y contratos. (2020). www.ingenieriacontratos.com/servicios

Andrade Lam, G., & ALVARADO, P. (2009). *Optimización Del Empleo De Maquinarias Para El Movimiento De Tierras De Un Proyecto Vial Mediante El Uso De Diagrama De Masas*.

Franquet, J., & Gomez, A. (2010). Index - Libro 967 - NIVELACIÓN DE TERRENOS POR REGRESIÓN TRIDIMENSIONAL. Tortosa, 326. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2011b/967/index.htm>

Gurtug, Y., & Sridharan, A. (2004). "Compaction Behaviour and Prediction of Its Characteristics of Fine Grained Soils with Particular Reference to Compaction Energy" *Soils and Foundations*.

Holtz, R. D., & Kovacs, W. D (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Osman, S. D., & Trogol, E. & Kayadelen, C. (2008). "Estimating Compaction Behavior of Fine-Grained Soils Based on Compaction Energy" *Canadian Geotechnical Journal*.

Paniagua Carty, A. A., & Quispe Serpa, H. E. (2017). *Estudio Comparativo entre el Método de Excavación sin zanja y el Método de Excavación Tradicional para el Cambio de Tuberías de Agua Potable y Desagüe*.

Gómez Cabrera, A. (2010). Simulación de procesos constructivos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(1), 121–141. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732010000100006>

Duque Bernal, J. Análisis del comportamiento de deformación volumétrica de llenos en brechas de servicios públicos. *Facultad de Minas*.

9 ANEXOS

9.1 Programa en Python

Se anexa el código creado para el cálculo de volúmenes de materiales en la ejecución de excavaciones y llenos de las actividades relacionadas con tubería. Este código se suministró a las personas que lo utilizarían en la obra. Además se les indico la única forma en que lo podían utilizar desde un dispositivo móvil, la cual es ingresando a la aplicación Pydroid 3 y buscar el nombre del archivo en los documentos del dispositivo, todo este proceso desde la aplicación. Posteriormente dar clic en el botón de ejecutar y listo.

```
1. import math # Se importa la librería Math de python
2. print("Este programa fue creado por Santiago Orozco") # Inicio personaliza
do
3. print("LEA DETENIDAMENTE E INTRODUZCA LOS VALORES EN LA UN
IDADES SOLICITADAS,UTILICE EL PUNTO PARA INDICAR DECIMAL Y
SIGA EL ORDEN DEL PROGRAMA DE ARRIBA HACIA ABAJO")
4. x = int(input("Oprima 1 si es solo la excavación, Oprima 2 si es con nicho: "
)) # El usuario debe ingresar 1 o 2 según la indicación y su necesidad
5. #*****
6.
7. if(x==1): # Este es el sub menú para solo excavación
8.     print ("Ingrese las dimensiones de la excavación en metros")
9.     anc1=float(input("Ingrese el ancho promedio de la excavación: "))
10.    lar1=float(input("Ingrese el largo promedio de la excavación: "))
11.    pro1=float(input("Ingrese la profundidad promedio de la excavación: "))
12.    z=anc1*lar1*pro1
13.    p=int(input("Oprima 1 si hay tubería,2 si no hay tubería: "))
```

```

14. if p==1 : # submenú si hay tubería
15.     diametro=float(input("Ingrese el diámetro de la tubería en centímetros:
    "))
16.     cotabatea=float(input("Ingrese la profundidad de la cota batea: "))
17.     Ntub=float(input("Ingrese el numero de tubos: "))
18.     Vlleno=z-(((diametro/100)/2)**2)*math.pi*lar1)*Ntub
19. elif p==2: # submenú si no hay tubería
20.     Vlleno=z
21.     print("El volumen teorico de excavación es de: ",(z),"metros cúbicos","\n
    Pero el real es de: ",round(z*1.30,2),"metros cúbicos")
22. else :
23.     print ("ingresaste un numero no valido")
24. #*****
25.
26. elif(x==2): #Este es el sub menú para excavación con nicho
27.     print("Ingrese los siguientes datos del nicho en metros")
28.     anc=float(input("Ingrese el ancho promedio: "))
29.     lar=float(input("Ingrese el largo promedio: "))
30.     pro=float(input("Ingrese la profundidad promedio: "))
31.     vnicho=lar*pro*anc
32.     print("El volumen del nicho es de",(vnicho),"metros cúbicos")
33.     print ("Ingrese las dimensiones de la excavación en metros")
34.     anc1=float(input("Ingrese el ancho promedio de la excavación: "))
35.     lar1=float(input("Ingrese el largo promedio de la excavación: "))
36.     pro1=float(input("Ingrese la profundidad promedio de la excavación: "))
37.     z=anc1*lar1*pro1
38.     p=int(input("Oprima 1 si hay tubería,2 si no hay tubería: "))
39.     #*****
40. if p==1 : # submenú si hay tubería
41.     diametro=float(input("Ingrese el diámetro de la tubería en centímetros:
    "))
42.     cotabatea=float(input("Ingrese la profundidad de la batea: "))
43.     Ntub=float(input("Ingrese el numero de tubos: "))
44.     Vlleno=vnicho+z-(((diametro/100)/2)**2)*math.pi*lar1)*Ntub
45.     #*****
46. elif p==2:# submenú si no hay tubería
47.     Vlleno=vnicho+z
48. else:
49.     print ("ingresaste un numero no valido")
50.     print("El volumen teorico de excavación es de: ",(Vlleno),"metros cúbicos
    ", "\nPero el real es de: ",round(Vlleno*1.30,2),"metros cúbicos")
51. else :
52.     print("Ingresaste un numero no valido")
53.
54. #*****
55. # menú para cantidad de materiales a utilizar

```

```

56. print("Ingrese las condiciones del lleno") # Se le informa al usuario el tema
    a tratar
57. ctriturado=int(input("Si el triturado es hasta medio tubo oprima 1
58. Si el triturado es hasta la cota clave oprima 2
59. Si el triturado sobrepasa la cota clave oprima 3
60. Si el triturado va a otra altura diferente a las anteriores oprima 4: ""))
61. #*****
62. if ctriturado==1: # submenú para condicion 1 (triturado medio tubo)
63.     htriturado=(pro1-cotabatea)+(0.5*(diametro/100))
64.     vtuberia((((diametro/100)/2)**2)*math.pi*lar1)*Ntub/2)
65.     vtriturado=(htriturado*lar1*anc1)-vtuberia
66. #*****
67. elif ctriturado==2: # submenú para condicion 2 (triturado es hasta la cota cl
    ave)
68.     htriturado=(pro1-cotabatea)+(diametro/100)
69.     vtuberia((((diametro/100)/2)**2)*math.pi*lar1)*Ntub
70.     vtriturado=(htriturado*lar1*anc1)-vtuberia
71. #*****
72. elif ctriturado==3:# submenú para condicion 3 (triturado sobrepasa la cota c
    lave)
73.     ht1=float(input("Ingrese la altura en centímetros a la cual debe quedar el t
        riturado por encima del tubo: "))
74.     htriturado=(pro1-cotabatea)+(diametro/100)+(ht1/100)
75.     vtuberia((((diametro/100)/2)**2)*math.pi*lar1)*Ntub
76.     vtriturado=(htriturado*lar1*anc1)-vtuberia
77. #*****
78. elif ctriturado==4:# submenú para condicion 4 (triturado va a otra altura dife
        rente a las anteriores)
79.     ht1=float(input("Ingrese la altura en centímetros a la cual debe quedar el t
        riturado: "))
80.     htriturado=(pro1-cotabatea)+(ht1/100)
81.     fi=2*(math.acos(1-(ht1/((diametro)/2))))
82.     A=float(0.5*(((diametro/100)/2)**2)*(fi-(math.sin(fi))))
83.     vtuberia=A*lar1*Ntub
84.     vtriturado=(htriturado*lar1*anc1)-vtuberia
85. #*****
86. hsub_base=float(input("Ingrese el espesor en centímetros que debe tener la
        capa de base granular: "))
87. vsub_base=(hsub_base/100)*lar1*anc1*1.25
88. harenilla=pro1-(htriturado+(hsub_base/100))
89. varenilla=harenilla*lar1*anc1*1.3
90. VRlleno=vtriturado+vsub_base+varenilla
91. print("El volumen de triturado es de :",round(vtriturado,2),"metros cúbicos")

92. print("El volumen de arenilla es de :",round(varenilla,2),"metros cúbicos")
93. print("El volumen de base granular es de :",round(vsub_base,2),"metros cú
        bicos")

```

```
94. print("El volumen teorico del lleno es de: ",round(Vlleno,2),"metros cúbicos"  
    ,"\npero el real es de: ",round(VRlleno,2),"metros cúbicos")  
95.  
96.  
97. print("fin del programa") # Se finaliza el programa  
98.  
99. print("*****")  
100. print("Ultima fecha de modificacion 11/07/20\ncontacto 3194277141\  
    nsantiago.oroocol@udea.edu.co")
```



9.2 Manual de usuario

**PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VOLÚMENES DE
MATERIALES EN LA EJECUCIÓN DE EXCAVACIONES Y
LLENOS DE LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON
TUBERÍA**

MANUAL DE USUARIO

Santiago Orozco Londoño

**Medellín, Colombia
2020**



Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	37
2. OBJETIVO	37
3. ORIENTADO A	37
4. REQUERIMIENTOS.....	37
5. GUÍA PARA DESCARGA Y EJECUCIÓN	37
5.1 Descarga.....	37
5.2 Ejecución.....	38



1. INTRODUCCIÓN

En este manual se describirán los objetivos y se dará información clara y exacta de cómo utilizar el **PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VOLÚMENES DE MATERIALES EN LA EJECUCIÓN DE EXCAVACIONES Y LLENOS DE LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON TUBERÍA**. El programa fue creado por SANTIAGO OROZCO LONDOÑO con el objetivo de controlar y permitir el seguimiento de las actividades de movimiento de tierras durante la ejecución de obra. Es importante consultar este manual antes de la ejecución del programa. Ya que lo ayudara tanto a iniciarlo como a su manejo. Con el fin de facilitar la comprensión del manual, se incluye gráficos explicativos.

2. OBJETIVO

El objetivo fundamental de éste manual es orientar y ayudar al usuario a utilizar el programa, obteniendo información relacionada con las actividades cotidianas de excavación y entregando cantidades precisas de los movimientos de tierras correspondientes.

3. ORIENTADO A

Todo el personal técnico de la obra como directores, ingenieros residentes, ingenieros auxiliares y auxiliares de ingeniería entre otros. Además del personal encargado de ejecución de las actividades, maestros de obra y oficiales entendidos, que tenga conocimiento de los componentes de una excavación típica de la obra.

4. REQUERIMIENTOS

Para la ejecución del programa desde un dispositivo móvil se requiere la aplicación Pydroid 3 la cual requiere por lo menos 250 MB libres de memoria interna, preferiblemente 300 MB. Además para descargar esta aplicación es necesario tener acceso a Internet una única vez y tener una cuenta Gmail para descargarla desde Google Play.

Nota: Los requerimientos para la ejecución del programa desde un computador no se especifican en este manual debido a que por practicidad no se utilizan en la obra.

5. GUÍA PARA DESCARGA Y EJECUCIÓN

5.1 Descarga

Se ingresa a Google Play desde el dispositivo móvil, si ya tiene cuenta registrada procede a buscar la aplicación Pydroid 3 en el buscador, si no tiene cuenta debe crear una asociada a Gmail. En la siguiente ilustración se aprecia el logotipo y la forma en que aparece la aplicación en Google Play, posteriormente se descarga y se instala automáticamente.

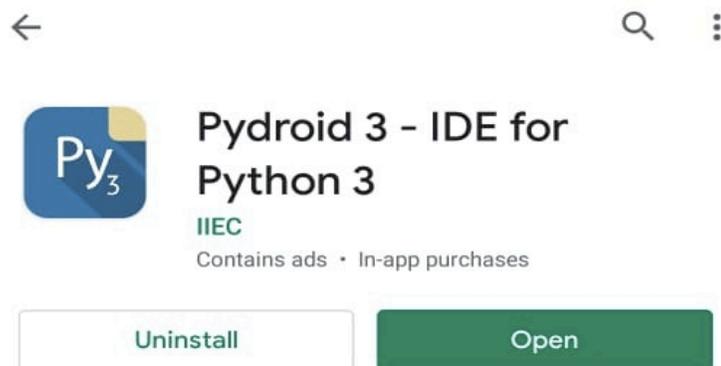


Ilustración 1. Logotipo de Pydroid 3.

5.2 Ejecución

Para la ejecución del programa se necesita tener la aplicación Pydroid 3 y pedirle el código al creador, los datos de contacto están al final de este manual en los anexos. Además seguir las siguientes indicaciones.

1. Se debe abrir la aplicación.
2. Dar clic en el icono de archivos, en la siguiente ilustración se indica la ubicación de este icono.



Ilustración 2. Icono de archivos.

3. Dar clic en abrir, posteriormente buscar el nombre del archivo el cual es `Calculadordevolumenes.py` y darle clic. Después de que realice este paso debe aparecerle el código ya en la aplicación como se muestra en la siguiente ilustración.

```

1 import math # Se importa la libreria Math de python
2 print("Este programa fue creado por Santiago Orozco") # Inicio personalizado
3
4 x = int(input("Oprima 1 si es solo la excavacion,
5 Oprima 2 si es con nicho: ")) # El usuario debe
6 ingresar 1 o 2 segun la indicacion y su necesidad
7 if(x=1): # Este es el sub menu para solo
8 excavacion
9 print ("Ingrese las dimensiones de la excavacion
10 en metros") # Se le indica al usuario las unidades
11 en que se va a trabajar
12 anc1=float(input("Ingrese el ancho promedio de
13 la excavacion: ")) # Se le pide el ancho promedio de
14 la excavacion al usuario
15 lar1=float(input("Ingrese el largo promedio de la
16 excavacion al usuario
17 pro1=float(input("Ingrese la profundidad
18 promedio de la excavacion: ")) # Se le pide la
19 profundidad promedio de la excavacion al usuario
20 z=anc1*lar1*pro1 # se calcula internamente el
21 volumen de la excavacion
22 p=int(input("Oprima 1 si hay tuberia,2 si no hay
23 tuberia: ")) # se le pide al usuario informacion de la
24 tuberia
25 if p==1 : # submenu si hay tuberia
26 diametro=float(input("Ingrese el diametro de la
27 tuberia en centimetros: ")) # Se le pide al usuario
28 que ingrese el diametro de la tuberia
29 cotabatea=float(input("Ingrese la profundidad
30 de la cota batea: ")) # Se le pide al usuario que
31 ingrese la cota batea
32 Ntub=float(input("Ingrese el numero de tubos:
33 ")) # se le pide al usuario que ingrese el numero de
34 tubos
35 Vlleno=z-(((diametro/100)/2)**2)*math.pi*
36 lar1*Ntub # se calcula internamente el volumen del
37 lleno restando el volumen de la tuberia.
38 elif p==2: # submenu si no hay tuberia
39 Vlleno=z
40 print("El volumen teorico de excavacion es de: ",
41 (z),"metros cubicos","\npero el real es de: ",z*
42 1.202)"metros cubicos") # Se muestra al usuario

```

Ilustración 3. Código en la aplicación.

4. Dar clic en el icono de ejecutar, en la siguiente ilustración se indica la ubicación de este icono.

```

14 cotabatea=float(input("Ingrese la profundidad
15 de la cota batea: ")) # Se le pide al usuario que
16 ingrese la cota batea
17 Ntub=float(input("Ingrese el numero de tubos:
18 ")) # se le pide al usuario que ingrese el numero de
19 tubos
20 Vlleno=z-(((diametro/100)/2)**2)*math.*
21 lar1*Ntub # se calcula internamente el volumen del
22 lleno restando el volumen de la tuberia.
23 elif p==2: # submenu si no hay tuberia
24 Vlleno=z
25 print("El volumen teorico de excavacion es de: ",
26 (z),"metros cubicos","\npero el real es de: ",z*
27 1.202)"metros cubicos") # Se muestra al usuario

```

Ilustración 4. Icono de ejecutar.

5. Lea cuidadosamente y responda la información que se le solicite, en el orden y las unidades que le indique el programa.
6. Si tiene algún problema en la ejecución del programa o ingreso mal un dato, debe cerrar la aplicación y repetir los pasos del 1 al 5.
7. Si ejecuto el programa sin ningún problema obtendrá las cantidades calculadas y se finalizará el programa como se muestra en la siguiente ilustración.

```
← TAB _ ⋮
Este programa fue creado por Santiago Orozco
Oprima 1 si es solo la excavacion, Oprima 2 si es con nicho: 1
Ingrese las dimensiones de la excavacion en metros
Ingrese el ancho promedio de la excavacion: 3
Ingrese el largo promedio de la excavacion: 12
Ingrese la profundidad promedio de la excavacion: 2.8
Oprima 1 si hay tuberia, 2 si no hay tuberia: 1
Ingrese el diametro de la tuberia en centimetros: 80
Ingrese la profundidad de la cota batea: 2.7
Ingrese el numero de tubos: 2
Ingrese las condiciones del lleno
Si el triturado es hasta medio tubo oprima 1
Si el triturado es hasta la cota clave oprima 2
Si el triturado sobrepasa la cota clave oprima 3
Si el triturado va a otra altura diferente a las anteriores oprima 4: 1
Ingrese el espesor en centimetros que debe tener la capa de base granular: 40
El volumen de triturado es de : 11.97 metros cubicos
El volumen de arenilla es de : 88.92 metros cubicos
El volumen de base granular es de : 18.0 metros cubicos
El volumen teorico del lleno es de: 88.74 metros cubicos
pero el real es de: 118.89 metros cubicos
fin del programa

[Program finished]
```

Ilustración 5. Ejemplo de una correcta ejecución.