



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN PREHISPÁNICO UTILIZADO
EN LA EDIFICACIÓN DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA EN GUATEMALA**

Iris Patricia Bobadilla Albizurez

Asesorado por el Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdés

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN PREHISPÁNICO UTILIZADO
EN LA EDIFICACIÓN DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

IRIS PATRICIA BOBADILLA ALBIZUREZ

ASESORADO POR EL ING. JORGE ALEJANDRO ARÉVALO VALDÉS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR	Ing. Roger Lionel Baldizón Navarro
EXAMINADOR	Ing. Ricardo Augusto Ibarra Menéndez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Ramírez Mejía
SECRETARIO	Ing. René Andrino Guzmán

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN PREHISPÁNICO UTILIZADO EN LA EDIFICACIÓN DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 29 de octubre de 2019.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Iris Patricia Bobadilla Albizurez', with a long horizontal flourish underneath.

Iris Patricia Bobadilla Albizurez

Guatemala, 04 de octubre de 2022

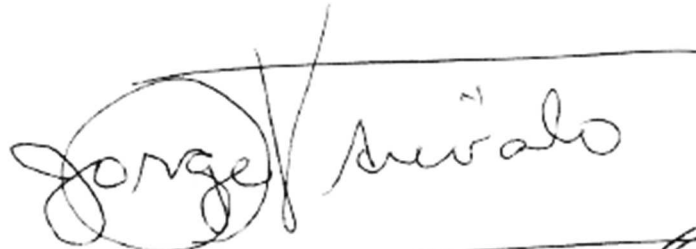
Ingeniero
Hugo Montenegro
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
USAC

Ingeniero Montenegro:

Por este medio le informo que como Asesor de la estudiante IRIS PATRICIA BOBADILLA ALBIZUREZ registro académico 8015638 y CUI 1942135010101 de la carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final del trabajo de graduación "ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN PREHISPÁNICO UTILIZADO EN LA EDIFICACIÓN DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA EN GUATEMALA".

En tal virtud lo doy POR ABROBADO, solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,



Ingeniero Jorge Alejandro Arévalo Valdés
Col. No. 2698



Guatemala, 18 de octubre de 2,022

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Fuentes, Le informo que he revisado el trabajo de graduación “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN PREHISPÁNICO UTILIZADO EN LA EDIFICACIÓN DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA EN GUATEMALA”, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil, Iris Patricia Bobadilla Albizurez, quién contó con la asesoría del Ing. Jorge Alejandro Arévalo Valdés.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Civil Hugo Leonel Montenegro Franco
Jefe de área de materiales y construcciones civiles.

LNG.DIRECTOR.012.EIC.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN PREHISPÁNICO UTILIZADO EN LA EDIFICACIÓN DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA EN GUATEMALA**, presentado por: **Iris Patricia Bobadilla Albizurez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, enero de 2023



LNG.DECANATO.OI.016.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN PREHISPÁNICO UTILIZADO EN LA EDIFICACIÓN DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA EN GUATEMALA**, presentado por: **Iris Patricia Bobadilla Albizurez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aureia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Con infinito agradecimiento.
Mis padres	Francisca Albizurez y José Gilberto Bobadilla, por su amor y su incansable lucha en nuestra educación, su mejor herencia.
Mi esposo	Ignacio Yon, que aún sin tu presencia física sos parte importante de este proyecto impulsándome a cerrarlo finalmente.
Mis hijos	Rafael Jon Fai, Pablo Jon Yao e Ignacio Jon Li Yon, mi orgullo y motor en cada amanecer.
Mis hermanos	Ana del Carmen, Luis Gustavo, José Gilberto, Rafael y María del Rosario Bobadilla, con gran amor fraterno.
Mi familia	Paulo Alberto, Javier Ernesto, Ana Rocío y Luis Gustavo Ozaeta, por su incondicional presencia en mi vida.
Mi tío	Juan Manuel Albizurez, por su inspiración a nuevos retos, su amor y alegría.

AGRADECIMIENTOS A:

Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala	Formadora y educadora, que me aportó las herramientas necesarias para el desempeño de mi profesión.
Mi asesor	Ingeniero Jorge Alejandro Arévalo Valdés, por su perseverante apoyo en la realización de este trabajo.
Arqueóloga Leticia Miguel Ros	Por sus constantes aportes bibliográficos, sus valiosos conocimientos, su amistad y su tiempo.
Ingeniero Carlos Leonel Pérez Arias	Por su valioso aporte en el análisis de suelos para esta investigación, por su asesoría y amistad.
Especialmente a	Paulo Alberto Ozaeta y Ana del Carmen Bobadilla, por su incansable apoyo y colaboración en la elaboración de este proyecto.
Mis amigos	Francisco Piloña, Sergio Tobías, Luis Juárez, Guillermo Fongton, Ligia Arriola, Mario Mansilla Manrique y Dora Castillo, con quienes el compartir de estudiantes se convirtió en una entrañable amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	1
1.1. Origen e historia del Montículo de La Culebra	1
1.1.1. El Montículo de La Culebra como una estructura prehispánica.....	2
1.1.2. Uso del Montículo de La Culebra	3
1.2. Investigaciones preliminares	3
1.3. Ubicación y extensión del Montículo de La Culebra.....	6
1.3.1. Ubicación geográfica del valle de la Culebra	6
1.3.2. Urbanización paulatina y destrucción del patrimonio cultural del Montículo de La Culebra y su legislación	7
1.4. De la hidráulica de canales del Montículo de La Culebra	9
1.4.1. Conceptos.....	9
1.4.2. Construcción del canal por la cultura prehispánica, etapa prehispánica.....	10
1.4.3. Construcción y adaptación del acueducto por la cultura hispánica, etapa hispánica	11

1.4.4.	Existencia de sistemas hidráulicos en Mesoamérica	13
2.	MÉTODO CONSTRUCTIVO PREHISPÁNICO DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA.....	15
2.1.	Análisis del Sistema Constructivo del montículo y del canal hidráulico.....	15
2.1.1.	Similitudes constructivas con otros sitios arqueológicos en Mesoamérica.....	16
2.1.2.	Impacto social-económico del Montículo de La Culebra en Kaminaljuyú.....	17
2.1.3.	Elementos constructivos identificados para la elaboración del Montículo de La Culebra	18
2.1.4.	Fases Constructivas para la edificación del Montículo de La Culebra.....	19
2.1.5.	Similitudes constructivas con obras de ingeniería en la actualidad en Guatemala	31
2.2.	Materiales utilizados en la construcción del Montículo de La Culebra.....	33
2.2.1.	Descripción de los materiales encontrados.....	34
2.2.1.1.	Características y propiedades físico-mecánicas	35
2.2.1.2.	Resultados del análisis de suelos de los materiales	37
3.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE TRAMO DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA.....	43
3.1.	Delimitación del área a medir	43
3.1.1.	Criterios y observaciones tomadas en cuenta para el levantamiento topográfico	43

3.2.	Proceso, cálculo y dibujo de la topografía	44
3.2.1.	Equipo Utilizado en la medición topográfica	44
3.2.2.	Metodología utilizada en el proceso de medición ...	44
3.2.3.	Construcción de la Libreta Topográfica.....	45
3.3.	Planta, Perfiles y Curvas de Nivel	53
3.4.	Cálculo de Movimiento de Tierra	58
3.5.	Reconstrucción de Modelo	61
3.6.	Determinación del volumen de material y costo estimado de la construcción del Montículo de La Culebra.....	63
3.6.1.	Renglones de trabajo.....	64
3.6.2.	Maquinaria	64
3.6.3.	Integración de los costos	65
3.6.4.	Parámetros utilizados en la integración del presupuesto	70
3.6.5.	Determinación del caudal transportado por el Montículo de La Culebra.....	72
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES.....	79
	REFERENCIAS	81
	APÉNDICES	85
	ANEXOS	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación geográfica del Montículo de La Culebra	7
2.	Mapa de Kaminaljuyú y lago Miraflores.....	17
3.	Plano y corte en el Proyecto Shadai.....	20
4.	Corte en el Proyecto Da-Da.....	21
5.	Corte en el Proyecto Aprovi	22
6.	Estructura escalonada en excavación Zoológico La Aurora	23
7.	Cuerpos escalonados en Proyecto Zoológico La Aurora	24
8.	Planta de excavación del proyecto Shadai.....	25
9.	Perfil de excavación del proyecto Shadai.....	26
10.	Escalinata en el Proyecto Shadai.....	27
11.	Parte superior de la estructura escalonada	28
12.	Excavación en el canal prehispánico.....	29
13.	Plano y corte del canal prehispánico	30
14.	Perfil de excavación de proyecto arqueológico Cohen	36
15.	Muestra MCC2-6 analizada	37
16.	Resultados de análisis de muestra MCC 2-6.	38
17.	Muestra MCC2-6 52N analizada	39
18.	Resultados de análisis de muestra MCC 2-6 52N.....	40
19.	Sección de la superficie generada a partir del levantamiento.....	53
20.	Curvas de nivel generadas a partir del levantamiento	54
21.	Eje longitudinal y trazo de líneas para generar secciones	55
22.	Perfil generado a partir de la superficie y el eje longitudinal	56
23.	Secciones transversales generadas.....	57

24.	Modelo idealizado en 3D de proyección de 1 kilómetro de la obra del Montículo de La Culebra con escalinata.....	62
25.	Modelo idealizado en 3D de 6 Km de la obra del Montículo de La Culebra con escalinata en ambos lados del canal.	63
26.	Corte del Canal, Investigación de Jacinto Cifuentes.....	73

TABLAS

I.	Proyectos de rescate en el área del Montículo de La Culebra.....	4
II.	Libreta Topográfica Coordenadas UTM.	46
III.	Libreta Topográfica en Coordenadas GTM	50
IV.	Reporte de movimiento de tierras.....	59
V.	Renglones de trabajo.....	64
VI.	Integración de costos directos para ejecutar los trabajos	65
VII.	Cantidades de trabajo y costos unitarios estimados	68
VIII.	Integración de costos indirectos para ejecutar los trabajos	68
IX.	Integración final del precio del proyecto	70
X.	Cronograma de Inversión Física - Financiera.	71

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
ha	Hectáreas
Km	Kilómetro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
m³ * Km	Metros cúbicos por kilómetro
mm	Milímetro

GLOSARIO

Acarreo	Transporte de materiales no clasificados de préstamo a cualquier distancia que exceda un kilómetro.
Altimetría	Parte de la topografía que se ocupa de la medición de alturas.
Cota fija	Es un punto de referencia dado cuyas coordenadas norte, este y elevación están registradas o son conocidas.
Curvas de nivel	Líneas que unen los puntos de un mapa que tienen la misma altitud o altura.
Escorrentía	Corriente de agua de lluvia que circula sobre la superficie de la tierra cuando rebasa un depósito natural o superficial.
Estación topográfica	Puntos que se establecen como referencia en un levantamiento topográfico.
Estadio	Periodo o fase de un proceso.
Estratigrafía	Ciencia que estudia, describe e interpreta la disposición de las capas o estratos de rocas y otros materiales en la corteza terrestre.

Excavación de material de préstamo	Trabajos de excavación para obtener materiales provenientes de áreas ubicadas fuera de los límites de construcción del proyecto que se utilizan para la conformación de rellenos y terraplenes.
Geo referenciar	Proceso que determina la posición de un punto en un sistema de coordenadas espacial diferente al que se encuentra.
GTM	Siglas de Guatemala Transversa Mercator. Sistema de coordenadas geográficas usado en Guatemala que es una adaptación del sistema Universal Transverse Mercator.
Kaminaljuyú	Sitio arqueológico prehispánico de la cultura maya ubicado a orillas del extinto Lago Miraflores, en las tierras altas de la actual ciudad de Guatemala.
Limpia, chapeo y destronque	Son las operaciones previas a la iniciación de los trabajos de terracería y otros, con el objeto de eliminar toda clase de vegetación existente.
Mensurable	Que puede ser medido o valorado.
Piso	Término arqueológico que define una nivelación o relleno delgado en un suelo de habitación.
Planimetría	Parte de la topografía que representa detalles de un terreno en una superficie plana.

Radiaciones	Método de medición topográfica que usa un punto interior del polígono base para localizar líneas auxiliares que definen la ubicación de un punto a través de coordenadas.
Rasante	Capa de terreno de una carretera que soporta el pavimento, que se extiende a una profundidad en la que no le afecte la carga de diseño.
Reacondicionamiento de la rasante	Trabajo que consiste en homogeneizar, mezclar, conformar y compactar la rasante para adecuar su superficie a las elevaciones del proyecto establecidas en los planos.
Relleno	Colocación de material específico con humedad óptima, uniformemente colocado y compactado.
Sección Transversal	Perfiles cortos que se realizan de forma perpendicular al eje del proyecto o perfil longitudinal para calcular volúmenes de material.
Subrasante	Es la superficie terminada de una carretera a nivel de corte o relleno, sobre la cual se coloca el pavimento.
Talpetate	Capa terrestre del subsuelo formada de barro y arena fina, se usa en pavimentación de carreteras.

Temporalidad

Es la ubicación de un proceso o actividad en una secuencia histórica, sujeta a determinadas limitaciones de tiempo.

UTM

Siglas en inglés de Universal Transverse Mercator. Sistema utilizado para referenciar un punto de la superficie terrestre a través de una proyección cilíndrica para representar la tierra sobre el plano.

RESUMEN

El Montículo de la Culebra se ha considerado uno de los más largos de Mesoamérica y una obra hidráulica monumental, con el propósito de reconocer la trascendencia de esta estructura de ingeniería se plantea esta investigación dividida en dos fases.

La primera describe el método de construcción llevado a cabo en el Montículo de la Culebra mediante un análisis comparativo entre diferentes estudios de investigación. En cada una de las etapas encontradas se identificaron elementos y técnicas constructivas del proceso, así como materiales usados en su elaboración.

Considerando los materiales encontrados en la construcción del montículo, se procedió a realizar análisis de laboratorio a muestras de suelo obtenidas en excavaciones de proyectos de investigación ya realizados y resguardadas en el Instituto de Antropología e Historia de Guatemala, con el propósito de determinar propiedades y características físicas en su composición.

La segunda fase consistió en realizar el levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico de un tramo del Montículo de la Culebra que sirvió de base para generar su superficie y obtener datos para calcular volúmenes de movimiento de tierra, así como información para cuantificar aproximadamente el costo y caudal que transportaba. Además, se generó un modelo idealizado del montículo, usando como herramienta el *software* AutoCAD Civil 3D.

OBJETIVOS

General

Reconocer la trascendencia del sistema hidráulico utilizado en Kaminaljuyú en la construcción del Montículo de La Culebra, como una obra de ingeniería prehispánica de gran magnitud.

Específicos

1. Describir el método constructivo hidráulico que se utilizó para edificar el Montículo de La Culebra.
2. Identificar y describir materiales de construcción y técnica usados en las estructuras hidráulicas encontrados a través del análisis de cortes y perfiles del suelo, en el tramo seleccionado del montículo.
3. Reconstruir un modelo del tramo seleccionado del Montículo de La Culebra a partir del levantamiento topográfico y la utilización del programa Civil 3D de Autodesk.
4. Obtener información significativa acerca de esta área que aporte datos sobre el Montículo de La Culebra como una construcción de ingeniería.

INTRODUCCIÓN

Al ser considerada como una obra de ingeniería civil de gran relevancia el Montículo de La Culebra, construido como un canal hidráulico abierto, se ve necesario rescatar la evidencia que se pueda obtener de esta área, recuperar datos que permitan analizar el sistema que se usó para su construcción, así como toda información técnica significativa acerca del pasado de ésta y que ha sido destruida en gran parte en la actualidad por el crecimiento urbano de este sector de la ciudad.

La presente investigación pretende además notar el gran esfuerzo humano que representó construir el Montículo de La Culebra sin contar con la maquinaria y equipo de punta que existe hoy en día. Es decir, el movimiento de tierra y la cantidad de metros cúbicos que representó su construcción y evaluar lo que equivaldría en la actualidad.

La investigación se enfocará en elementos constructivos como la lógica y técnica, materiales, durabilidad y pendientes utilizadas en una estructura hidráulica prehispánica. Los resultados obtenidos en ella se presentarán en tres capítulos, descritos a continuación.

En el Capítulo 1, Antecedentes Históricos, se plantean definiciones y antecedentes que describan información para la comprensión del tema a desarrollar.

En el Capítulo 2, Método Constructivo Prehispánico del Montículo de La Culebra, detalla los hallazgos de la técnica y materiales en la construcción de los

canales como elementos hidráulicos. Además, todos los datos técnicos que permitan definir el objeto de este capítulo.

En el detalle del Capítulo 3, se describirá el levantamiento topográfico, planimétrico y altimétrico, que permita reconstruir un modelo del tramo seleccionado del Montículo de La Culebra al que se tendrá acceso, comprendido entre el Obelisco y el Zoológico La Aurora ubicado en la zona 13 de la ciudad capital de Guatemala, para definir curvas de nivel, perfiles y datos de volúmenes de movimiento de tierra que generó la construcción de este tramo. Luego se inferirá del recorrido que se tiene conocimiento que va desde la presa del Cambray en Santa Catarina Pinula hasta el actual parque Zoológico La Aurora.

1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

1.1. Origen e historia del Montículo de La Culebra

El Montículo de La Culebra es el conjunto arquitectónico monumental histórico más extenso de Mesoamérica. Representa también una de las estructuras hidráulicas más relevantes en etapas distintas de su historia. Por una parte, es una construcción edificada por una cultura prehispánica que data principalmente del periodo Preclásico Medio hasta posiblemente el Clásico Temprano y Clásico tardío relacionada con la ocupación de Kaminaljuyú, creada como un canal transportador de agua, hace más de dos mil años. La otra, la época Colonial cuando se construyó el Acueducto de Pinula, un canal hispánico con elementos hidráulicos de esa época durante la parte final del siglo XVII momento en que se llevó a cabo el traslado de la ciudad de Santiago de Guatemala desde el Valle de Panchoy al Valle de la Ermita.

En la actualidad el Montículo de La Culebra es una elevación de barro con una altura promedio de doce metros y una longitud aproximada de seis mil metros, aunque según Ohi (1992) su longitud se alargaba hasta las inmediaciones de Kaminaljuyú, siendo mencionadas las primeras referencias de su existencia por Batres (1916), entre otros, que relata:

En lo que antes se llamaba el llano de la Culebra, por donde corre el caño del agua y se ven los Arcos, estaban muchos de estos cerritos artificiales o teocalli que los españoles aprovecharon para no tener tanto gasto en la construcción de los arcos de calicanto sobre que descansa el magnífico acueducto. (p. 25)

La magnificencia de una obra como el Montículo de La Culebra ha pasado desapercibida para los guatemaltecos, y continúa de la misma forma, pues son pocas las autoridades y profesionales en el tema que han reconocido su relevancia en la actualidad, más no así para otras instituciones internacionales.

1.1.1. El Montículo de La Culebra como una estructura prehispánica

La importancia del Montículo de La Culebra como una obra hidráulica radica en que fue construida en un período prehispánico sin la tecnología ni la industrialización actual, edificada con materiales, pendientes y técnicas funcionales, haciendo uso adecuado de la topografía para desarrollar y construir una obra de ingeniería civil de gran relevancia. Esto puede constatarse con las investigaciones realizadas por los proyectos arqueológicos de rescate, mediante el análisis del material extraído y otras evidencias que determinaron tres fases constructivas importantes para la edificación del Montículo de La Culebra, la más antigua denominada fase Las Charcas (1 000-500 AC) del período Preclásico Medio; la segunda en la fase Providencia (500-200 AC) para el Preclásico Tardío y la fase Verbena - Arenal (200 AC - 100 DC) para el Preclásico Terminal. (Ortega, 2002)

Cien años antes de la construcción del Acueducto de Pinula, el cronista Francisco Fuentes y Guzmán ya había descrito una extraña edificación refiriéndose al Montículo de La Culebra, aunque en ese momento no se le dio la importancia respectiva creyendo que era una exageración de parte del historiador.

Por todo ello el Montículo de La Culebra es considerado como una obra monumental prehispánica de las más largas de Mesoamérica.

1.1.2. Uso del Montículo de La Culebra

De acuerdo con las investigaciones arqueológicas de rescate llevadas a cabo en zonas del montículo se le han atribuido funciones variadas, como muralla defensiva, canal hidráulico o retención de aguas o como límite de tierras entre otros, siendo posible a lo largo de su edificación el uso de alguna de ellas si se considera su relación con la ciudad de Kaminaljuyú. (Martínez & Cabrera, 1998 y Valle, 2004)

Sin embargo, el Montículo de La Culebra abasteció como red hidráulica a varias ciudades del altiplano central durante muchos años desde la época prehispánica y posteriormente como acueducto en la época colonial a partir de 1773 cuando el Arquitecto Mayor Bernardo Ramírez es designado para investigar el aprovisionamiento del vital líquido para el traslado de la nueva ciudad de Guatemala al valle de la Ermita y posteriormente la construcción del acueducto. Por lo tanto, ésta se considera como una obra de ingeniería ligada a la fundación de una ciudad.

1.2. Investigaciones preliminares

Las investigaciones preliminares realizadas en diferentes sectores del Montículo de La Culebra en su mayoría han sido efectuadas como proyectos de rescate arqueológico con el objeto de preservar y proteger el patrimonio cultural y han sido desarrolladas solamente con enfoque arqueológico e histórico presentando muchas dificultades para obtener información, pero finalmente son los únicos estudios que han permitido una visión sobre la construcción de esta obra prehispánica.

En los trabajos de investigación y de rescate arqueológico llevados a cabo desde los años veinte en la zona del Montículo de La Culebra, por investigadores tales como el doctor Manuel Gamio, así como arqueólogos de la Institución Carnegie de Washington y otros más recientes, no reconocieron el origen del montículo como prehispánico, a pesar de que el Instituto de Antropología e Historia de Guatemala IDAEH, les informara que lo era.

Sin embargo, luego de varios trabajos de rescate y preservación en beneficio del montículo se ha determinado con mucha certeza el uso o su función como un canal de origen prehispánico para el traslado de agua.

A continuación, se enumeran algunos proyectos a partir de 1980 a 2010, siendo sólo parte de ellos ya que éstos se siguen realizando hasta la actualidad:

Tabla I. **Proyectos de rescate en el área del Montículo de La Culebra**

Proyecto	Año	Hallazgos reportados
Proyecto DADA	1987	El montículo fue mutilado al norte, exponiendo 16 m de largo por 4.50 m de alto. Los datos infirieron dos estadios constructivos. Una de ellas consistió en una nivelación de rellenos en forma escalonada. (Ortega, 1996)
Proyecto APROVI	1987	Se encontró un piso con una coloración roja debido a la oxidación. Sobre el cual se asentaba una estructura escalonada destruida para la construcción del Acueducto de Pinula. (Ortega, 1996)
Proyecto Shadai	1989-1990	Se realizó un corte de 48.30 m de largo y 5.70 m de alto. Se trazaron seis unidades de excavación sobre el montículo y cuatro en el área plana, determinándose tres estadios constructivos. (Ortega, 1994)
Rescate	1990	Fue planificado en el posible inicio del Montículo de La Culebra. Se detectó una serie de lajas alineadas que podrían haber conformado un canal prehispánico. (Ortega, 1996)

Continuación de la tabla I.

Proyecto	Año	Hallazgos reportados
Proyecto de Rescate Arqueológico Montículo de La Culebra (PRMC)	2004	Fue realizado en un terreno ubicado en la 26 avenida 2-28 zona 14. Se trazaron 14 pozos dentro de una cuadrícula que abarcaba una extensión de 10 x 10 m, incluyendo un pozo maestro. En algunas unidades se localizó una plataforma de barro acompañada de piedra de río. También identificaron un piso de talpetate mezclado con arena y tres gradas algo destruidas y se recuperó material moderno, de las fases Verbena, Arenal y Providencia. (Flores, 2004)
Proyecto Arqueológico de Rescate Jardines del Acueducto	2004	Fue un proyecto planificado para la urbanización de una colonia en la 16 avenida 20-80 zona 10. Se inspeccionó un área de 80 m ubicada a 28.76 m de distancia del Montículo de La Culebra y se trazaron 10 unidades de excavación con las que se pudieron definir dos pisos ubicados sobre el estrato de tierra negra, y con el análisis del material determinaron que la construcción del Montículo de La Culebra fue durante las fases Verbena y Arena, entre 400 a.C. a 100 d.C. (Martínez, 2004)
Proyecto de Salvamento y Rescate Arqueológico Las Conchas	2006	Corresponde a un terreno de 67.30 m oeste a este y 34.84 m de norte a sur, localizado en la 6 avenida de la zona 14. En este sector se mutilaron 2344.73 m ² , donde se detectaron dos estructuras escalonadas, restos de un posible canal y pisos fechados para la Fase Providencia. (Valle, 2007)
Proyecto de Rescate y Salvamento Arqueológico Plaza Fercó	2007	El área investigada fue de 22.67 m en el eje este- oeste y 49 m norte-sur en la 20 calle 12-40 zona 10. En este sector, el montículo se encontraba bastante dañado por la excavación de una cueva con piedras de canto rodado con incrustaciones de lascas de obsidiana en la parte superior. Se excavaron cuatro pozos, en uno de los cuales se encontró un piso café rojizo fechado para la Fase Providencia correspondiente para el Preclásico Medio. (Valle, 2007)
Proyecto de investigación arqueológica Hidroeléctrica Santo Domingo	2010	El proyecto de se realizó en la 20 calle 23-94 y 23-98 zona 10. Se trazaron nueve pozos dentro de los cuales se contó con un pozo maestro. Se reportó que el estrato de tierra negra, correspondía a un lote que no debía tomarse en cuenta por estar contaminado, debajo del cual no se reporta ningún rasgo arquitectónico vinculado con el Montículo de La Culebra. Principalmente fue encontrado, material moderno fechado para la década de 1970. En lo que respecta al material prehispánico se identificaron tiestos del periodo Preclásico Medio y Tardío y Clásico Tardío. (Urbina 2010)

Fuente: Arroyo. (2014). *Informe Final Zona Arqueológica Kaminaljuyú Temporada 2014.*

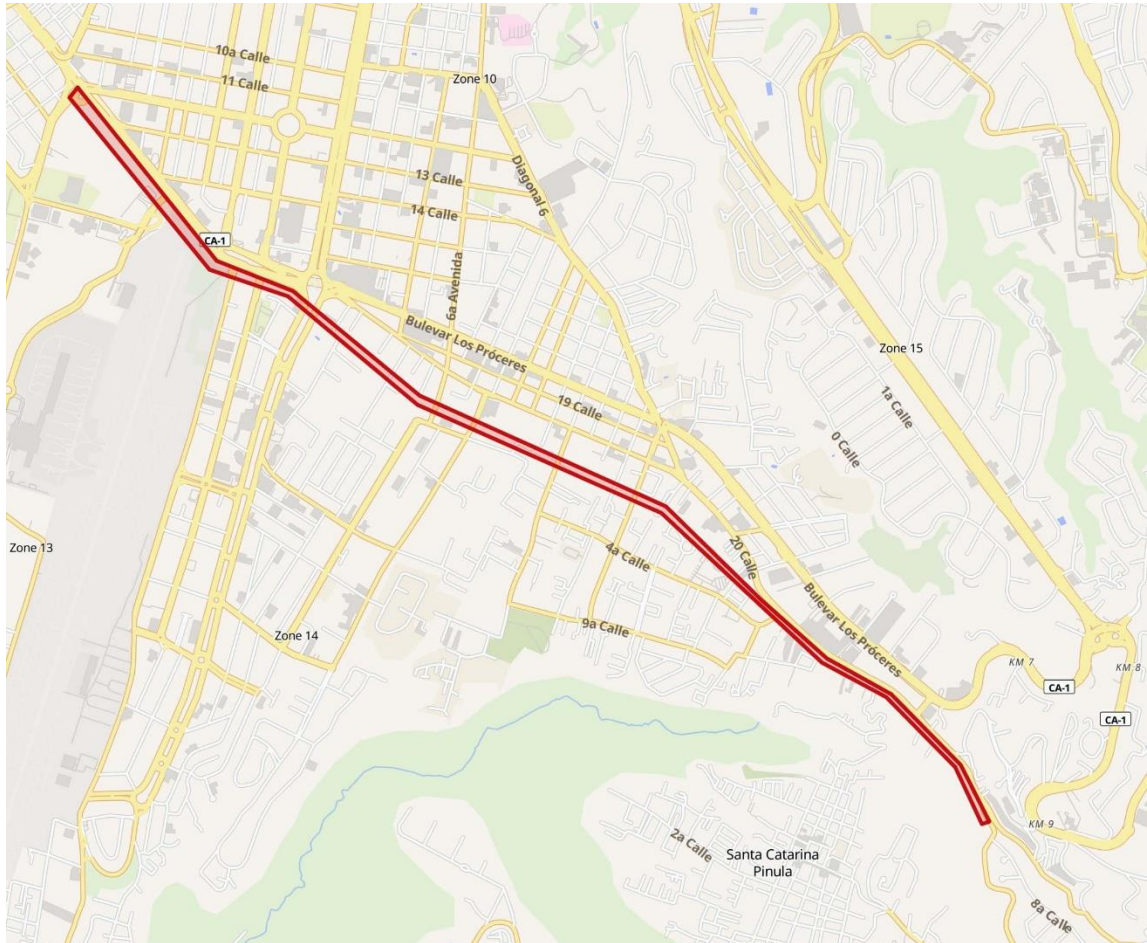
1.3. Ubicación y extensión del Montículo de La Culebra

El Montículo de La Culebra tenía una ubicación estratégica y formaba parte de los proyectos realizados alrededor de la ciudad de Kaminaljuyú para aprovechar los recursos con los que se disponía en esa época.

1.3.1. Ubicación geográfica del valle de la Culebra

El Montículo de La Culebra se encuentra localizado al sureste de la ciudad de Guatemala, en el límite entre la zona 9 y la zona 13 en el lado Oeste, y en el límite entre las zonas 10 y 14 en el lado Este, teniendo la avenida de las Américas como referencia. Inicia en el municipio de Santa Catarina Pinula, donde se encuentran ubicadas las instalaciones de la planta de tratamiento de agua El Cambray y continúa paralelo a la 20 calle de la zona 10 hacia la plaza Tecún Umán zona 13, en los alrededores del Zoológico La Aurora, como se aprecia en la figura 1.

Figura 1. **Ubicación geográfica del Montículo de La Culebra**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Navarrete y Luján Muñoz (1986). *El Gran Montículo de la Culebra en el valle de Guatemala.*

1.3.2. Urbanización paulatina y destrucción del patrimonio cultural del Montículo de La Culebra y su legislación

La ubicación de una obra como el Montículo de La Culebra dentro de la ciudad de Guatemala en un sector de mucho desarrollo urbano y comercial, en su mayor parte dentro de la propiedad privada, ha imposibilitado la investigación

y el análisis de esta estructura con fines diferentes a estudios arqueológicos de rescate en su mayoría, como se ha mencionado anteriormente.

En el año 1986 Carlos Navarrete y Luis Luján Muñoz elaboraron un detenido y minucioso estudio histórico con relación al Montículo de La Culebra, siendo de los primeros investigadores interesados en recabar toda la información posible que existía de esta importante estructura prehispánica, así como el estado de deterioro en que se encontraba a lo largo de su localización en esa fecha. El trabajo realizado por estos profesionales develó la destrucción acelerada que se está cometiendo con el montículo.

El montículo estaba completo aún en el año 1870, y no fue hasta el periodo cuando se realizó la construcción del Zoológico La Aurora, el Aeropuerto La Aurora y el Hipódromo del Sur que se inició su destrucción. Posteriormente, empezó el crecimiento y desarrollo urbano en ese sector y el deterioro fue mayor.

Entre los sectores más afectados debido a la urbanización de la zona, se encuentran los siguientes: las intersecciones con la entrada hacia el Aeropuerto sobre el Boulevard Liberación, hacia la entrada de la avenida Hincapié y del Obelisco hacia la Avenida de Las Américas. Así mismo, desde la 20 calle de la zona 10 hacia las 2ª, 6ª, 10ª, 13ª y 14ª avenidas. Esta última atraviesa el montículo y se pueden apreciar secciones del mismo y del acueducto.

En el año 1966, el ministro de Educación Carlos Martínez Durán declara tanto al Montículo de La Culebra como al Acueducto de Pinula como monumentos históricos a través del Acuerdo Ministerial 940 del 4 de agosto. Posteriormente, a raíz de los resultados de las investigaciones de Navarrete y Luján sobre la evidente y continua destrucción de estos monumentos, el Ministerio de Cultura y Deportes interviene, emitiendo un acuerdo que establece las normas de

protección y uso para las áreas adyacentes a esta obra, denominado Acuerdo Ministerial 30-86, Normas de Protección y Uso de las Áreas Adyacentes afectas al Montículo de La Culebra y Acueducto de Pinula, emitido en octubre de 1986 con el objetivo de establecer límites para su protección. Sin embargo, no permite una total protección para la conservación de estos magníficos monumentos, ya que tiene la deficiencia que establece un ancho máximo de protección a partir del eje del montículo, dejando desprotegidas y expuestas las áreas fuera de este límite y permitiendo que los propietarios inescrupulosos los destruyan.

A pesar de la protección que debería tener como patrimonio cultural por el acuerdo mencionado, la destrucción y deterioro de las áreas aledañas al montículo y al acueducto continúa agravándose, y no se realiza ninguna campaña de concientización a la población sobre la importancia de conservar estas obras únicas que representan nuestra historia, pues los daños no son reportados por encontrarse generalmente en propiedad privada provocando la pérdida valiosa de información.

1.4. De la hidráulica de canales del Montículo de La Culebra

El Montículo de La Culebra funcionó como un canal para el abastecimiento de agua a los poblados que se encontraban en las cercanías de la ciudad de Kaminaljuyú y el lago Miraflores, por lo que es importante definir las características de esta obra y sus similitudes con otros sistemas similares construidos durante la misma época.

1.4.1. Conceptos

A través de la historia el hombre ha construido obras para el aprovechamiento de agua, entre las más antiguas están los canales usados para

el abastecimiento y distribución de agua u otros fluidos, pudiendo ser estas estructuras cerradas o abiertas.

Los canales abiertos son sistemas de conducción de flujos con superficie libre, en los que éstos circulan debido a la gravedad y sin ninguna presión, al estar en contacto con la atmósfera el líquido fluye impulsado por la presión atmosférica y su propio peso. Este es el tipo de canal encontrado sobre el montículo, el cual refleja altos conocimientos del manejo hidráulico de esta cultura, así como su construcción y mantenimiento implicando un esfuerzo y una fuerza laboral intensa de la población a la cual abasteció.

De acuerdo con su origen, este tipo de canal se clasifica como un canal artificial ya que fue construido por el esfuerzo del trabajo del hombre. Estos canales generalmente son diseñados con formas geométricas regulares, de sección transversal invariable. En el caso del canal localizado sobre el Montículo de La Culebra, la sección transversal es rectangular y revestida de laja.

1.4.2. Construcción del canal por la cultura prehispánica, etapa prehispánica

Los hallazgos encontrados a medida que las investigaciones se han ido desarrollando han dejado expuesto el uso de obras hidráulicas en sitios como Kaminaljuyú y que se relacionan con el lago Miraflores, ya desaparecido, evidenciando la existencia de ciudades a las cuales estas estructuras distribuyeron el agua, tanto para uso doméstico como para el desarrollo de su agricultura.

El Montículo de La Culebra se construye en esta época prehispánica para abastecer a las ciudades a lo largo de su localización. En un documento histórico,

Fuentes y Guzmán (1690) lo describe, indicando cual pudo haber sido su función en esa época:

Tradición corriente y antigua hay que asegura y afirma que por el sitio que llaman de la Culebra, y es hacienda comprendida y numerada entre las demás de este valle, y en una llanura y campaña bien dilatada, corre y desliza un río de no pequeño caudal, oculto y escondido por las entrañas de la tierra y que en un sitio de este hermoso llano, entre la Casa Blanca y el Monte de los Zorros, se descubre algo debajo de una grande losa que llaman laja, con que los antiguos indios lo dejaron tapado y encubierto al uso de nuestra conveniencia. (p. 302)

Se trata del río Pinula, que es la fuente que abasteció a estos asentamientos humanos hasta la ciudad de Kaminaljuyú, encauzándolo a través de un canal construido sobre el montículo para su traslado.

En los proyectos de rescate e investigación que se han realizado en el Montículo de La Culebra se han encontrado pisos de barro, estructuras escalonadas e información que determina tres fases constructivas o momentos de ocupación en distintos períodos de la historia que han estudiado profesionales en arqueología, pero para los fines de esta investigación, el enfoque importante es dar a conocer el canal construido sobre el montículo como una obra hidráulica de la ingeniería civil.

1.4.3. Construcción y adaptación del acueducto por la cultura hispánica, etapa hispánica

Previo al traslado oficial de la Nueva Guatemala y a los trabajos de infraestructura que el mismo implicaba, fue designado el Fontanero Mayor Bernardo Ramírez para ubicar fuentes de agua y para la construcción de un sistema hidráulico para las necesidades de la población. Ramírez aprovechó el

montículo prehispánico como base para construir el acueducto y distribuir el agua a la ciudad.

En la actual plaza de Tecún Umán, el acueducto se desligaba del Montículo de La Culebra y se dirigía al norte por donde ahora está la avenida La Castellana y aproximadamente por la calzada Atanasio Tzul, continuaba por las actuales zonas 8 y 1, concluyendo parte de su recorrido en la 20 calle entre 2ª. y 3ª. avenidas de la zona 1 y finalizando en la última caja de distribución situada en la esquina de la 10ª. Calle y 2ª. Avenida zona 1, facilitando la distribución del agua a toda la población.

Una diferencia de altura o desniveles diseñados adecuadamente hicieron que el acueducto alcanzara un caudal con la velocidad y presión adecuadas para un funcionamiento correcto en la distribución hacia todos los sectores. Esta diferencia de altura fue de 36 metros de la cota inicial en la toma de Pinula a la cota donde finalizaba el acueducto en el centro de la ciudad en zona 1.

El acueducto trabajó por gravedad y fue construido de ladrillo con argamasa, bóveda de arcos de ladrillo y el cimientado del conducto de argamasa y piedra, tuberías de barro cocido que unieron lavaderos públicos, tanques y cajas de distribución domiciliarias.

El 24 de junio de 1786 se finalizó la construcción del acueducto con un recorrido de 10.6 kilómetros, quedando en desuso en 1938 en el gobierno de Jorge Ubico.

1.4.4. Existencia de sistemas hidráulicos en Mesoamérica

Se denomina Mesoamérica a la región que ocupa la mitad meridional de México, así como los territorios de Belice, Guatemala, El Salvador y el occidente de Honduras, Nicaragua y Costa Rica. Sin embargo, Mesoamérica no se refiere a un área geográfica, sino más bien a un área cultural e histórica. Estuvo habitada por grandes culturas de la época prehispánica como los aztecas, los mayas, los toltecas y los olmecas entre otros por su diversidad étnica y riqueza cultural, cuyo legado tiene vigencia hasta nuestros días.

Como culturas sobresalientes, desarrollaron técnicas y obras hidráulicas al servicio de sus habitantes para diversos usos.

Entre los acueductos más conocidos del norte de Mesoamérica están los de Chapultepec, Coyoacán y Tezcotzinco. Se considera que este último sirvió para irrigación, recreación y distribución de agua potable.

En Oaxaca, se ha evidenciado la existencia de canales para conducir agua desde una presa.

En el norte de la cuenca de México también hay vestigios de un canal que luego se subdividía en varios canales para llevar el agua a diferentes parcelas.

En el área de lo que actualmente es Puebla se conserva hasta hoy una red de canales gracias a haberse petrificado o fosilizado debido al alto contenido de carbonato de calcio en el agua.

En Guatemala se pueden mencionar otras construcciones hidráulicas como la de Tikal, Quiriguá, Nakum en el área maya y territorio geográficamente más cercano.

2. MÉTODO CONSTRUCTIVO PREHISPÁNICO DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA

2.1. Análisis del Sistema Constructivo del montículo y del canal hidráulico

Teniendo en cuenta los antecedentes expuestos en el capítulo anterior y el análisis de diferentes proyectos arqueológicos en la ciudad de Kaminaljuyú, se ha establecido la relación directa de esta ciudad con el Montículo de La Culebra.

De acuerdo con el análisis de mapas coloniales, se ha confirmado la posibilidad de que el montículo que corría desde el área central de la antigua ciudad, donde se localizaba el lago Miraflores, alimentaba el caudal de agua del lago desde el manantial El Cambray. (Arroyo, 2015)

Para establecer el uso que se dio a esta obra, se hizo necesaria la realización de diversos proyectos arqueológicos en los que se encontraron restos de un canal en la cima del montículo, y a partir del análisis de información relevante, se ha determinado que funcionó como un sistema hidráulico elaborado con métodos constructivos de la época, que va desde el periodo Preclásico Medio hasta el Clásico Temprano, siendo una estructura hidráulica elaborada de lajas delgadas y materiales como arena amarilla, arenas mezcladas, tierra, barro y talpetate de origen volcánico y de gran dureza.

Kaminaljuyú fue una ciudad construida de barro, ya que estos procedimientos constructivos eran comunes debido a su posición geográfica. De igual forma ocurrió con el Montículo de La Culebra, que ha sido descrito por

Francisco Antonio de Fuentes y Guzmán como una culebra de tierra hecha a mano, aunque se desconoce de dónde se obtuvo el suelo o tierra utilizada, es posible que haya sido extraída de las montañas que rodean el valle.

Con respecto al canal hidráulico como objeto de estudio y construido sobre el montículo, por su forma ondulante se le dio el nombre de La Culebra, pero en realidad no se puede asegurar la razón de su denominación y si influyó la topografía del terreno para su conformación. (Arredondo, 2013).

2.1.1. Similitudes constructivas con otros sitios arqueológicos en Mesoamérica

Puesto que Kaminaljuyú es una de las ciudades más importantes en el territorio mesoamericano, es relevante identificar las similitudes en su desarrollo urbanístico con respecto a otras ciudades contemporáneas.

Así, ciudades como Itzapa, Monte Alto y Paso de la Amada comparten muchas características constructivas con Kaminaljuyú, y en diversos estudios sobre el origen histórico de la ciudad, se han detectado similitudes que posiblemente relacionan una gran influencia de la ciudad de Teotihuacán, ubicada en el noreste de México, con la ciudad de Kaminaljuyú, aunque no existen suficientes pruebas para establecer una relación directa entre ambas ciudades.

Es importante considerar estos datos, puesto que, siendo el Montículo de La Culebra un edificio importante de la antigua ciudad de Kaminaljuyú, se deben identificar los rasgos constructivos que son similares a otras ciudades prehispánicas que comparten la temporalidad de su construcción.

2.1.2. Impacto social-económico del Montículo de La Culebra en Kaminaljuyú

La posición estratégica de Kaminaljuyú, así como la convergencia de distintas rutas y su cercanía con el lago Miraflores, contribuyeron a que se evaluara el aprovechamiento y explotación de los recursos a su alcance, siendo la existencia del Montículo de La Culebra la muestra más grande del aprovechamiento del agua en esta ciudad.

El lago Miraflores se alimentaba principalmente a través de manantiales subterráneos y lluvia, pero la alta demanda de agua como servicio básico ocasionaba que el lago disminuyera gradualmente su volumen, por lo que según investigaciones se cree que el Montículo de La Culebra fue una importante obra hidráulica que abasteció al lago Miraflores, así como al territorio por donde transcurría. (Ohi y Luján Muñoz 2001; Arroyo y Henderson 2020)

Figura 2. Mapa de Kaminaljuyú y lago Miraflores



Fuente: Sandoval. (2009). Una ciudad debajo de otra. *Revista D*, número 255. (p. 22-23).

Así, se le atribuyen diversos propósitos al Montículo de La Culebra, principalmente el traslado del agua que era parte esencial de la política de Kaminaljuyú, además del riego de cultivos y posiblemente para el transporte de materiales como piedra y artefactos para monumentos tallados, aprovechando la superficie superior del canal. (Arroyo, 2020)

2.1.3. Elementos constructivos identificados para la elaboración del Montículo de La Culebra

Se ha evidenciado una gran planificación y organización en los procesos constructivos para la época en la que se llevó a cabo la construcción, tanto en la resolución de problemas que generaron estas estructuras como para la obtención de los materiales usados y la coordinación de mano de obra.

Uno de los principales elementos constructivos identificados en el Montículo de La Culebra consiste en los cambios a la topografía natural a través de la conformación de plataformas con rellenos de distintos materiales.

Los primeros son los rellenos en franjas, formados por capas delgadas de arcilla sobre capas de arena o mezcladas, los cuales constituyen el tipo de relleno más común que se utilizó en los montículos de Kaminaljuyú. Los segundos son los rellenos en bloques, conformados con grandes trozos de talpetate y arcilla. Y por último se encuentran los rellenos que pueden ser depósitos de arcilla o en forma de pequeños grumos.

Otro detalle constructivo de mucha importancia es la construcción de estructuras escalonadas que consisten en edificaciones de escalinatas de dos o hasta de veintiún escalones o en forma de plataforma simple con un solo escalón o nivel de sustentación.

2.1.4. Fases Constructivas para la edificación del Montículo de La Culebra

A lo largo de la investigación y usando un método comparativo con los estudios de los proyectos arqueológicos investigados, se regularizaron los datos y evidencias recabadas para interpretar los resultados de las técnicas utilizadas.

Con base en este análisis, se estableció que la construcción del Montículo de La Culebra fue ejecutada en periodos o estadios diferentes. De acuerdo con la investigación del Proyecto de Investigación Interdisciplinaria de Guatemala en el área de La Culebra Kaminaljuyú patrocinado y coordinado por el Museo de Tabaco y Sal, se recopilaron datos de varios estudios de rescate, presentados en la Tabla I, que al ser analizados permitieron obtener la secuencia general de la construcción del montículo. Se hace la aclaración que éstos son solo parte de los estudios realizados en el Montículo de La Culebra, ya que las investigaciones para proyectos de rescate se siguen llevando a cabo hasta la actualidad.

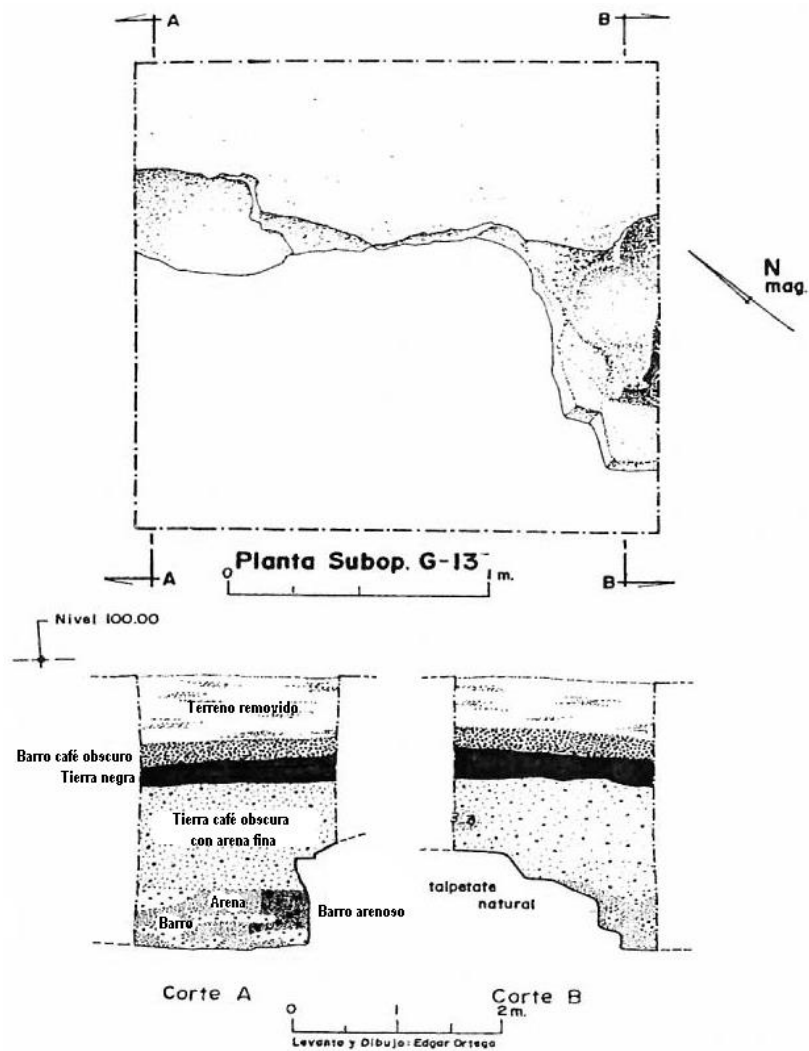
Dentro de ellos se vio la dificultad de determinar la secuencia cronológica de la construcción; sin embargo, se identifican tres momentos prehispánicos en este proceso.

Cronológicamente las etapas constructivas van desde finales del Preclásico Medio, 400 A.C. hasta principios del periodo Clásico Temprano, 200 D.C., la temporalidad es importante porque permite ubicar el rango de tiempo en que se construyó y estuvo en uso esta obra.

La secuencia constructiva, analizada principalmente en los cortes y perfiles estratigráficos de los diferentes proyectos, establece tres etapas constructivas que se plantean a continuación.

La primera fase constructiva corresponde a la modificación de la topografía original del terreno, que generalmente se hacía tallando la capa de talpetate natural para nivelar la superficie a trabajar.

Figura 3. Plano y corte en el Proyecto Shadai.

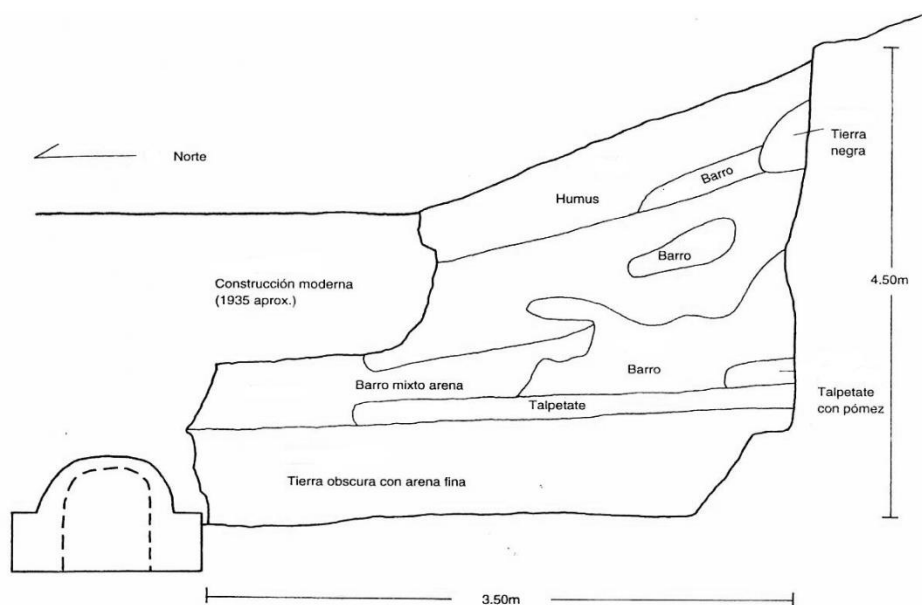


Fuente: Museo de Tabaco y Sal. (2001). *La Culebra Kaminaljuyú*.

Los cambios en la topografía también se hicieron a través de plataformas o nivelaciones construidas de barro o mezclas de barro con arena, con talpetate o con pómez triturado donde el barro sirvió como aglomerante en la mezcla. Estas nivelaciones, que en los estudios arqueológicos reciben el nombre de pisos, son de un espesor de entre 15 a 20 centímetros. En el proyecto *Shadai* están hechas de tierra negra mezcladas con arena fina muy bien compactada (figura 3).

También en el tramo de canal descubierto y estudiado por Jacinto Cifuentes, en el Proyecto de Rescate ubicado en la 26 avenida 2-28 zona 14 y en el proyecto Da-Da, se localizan rellenos de talpetate mezclado con arena (figura 4).

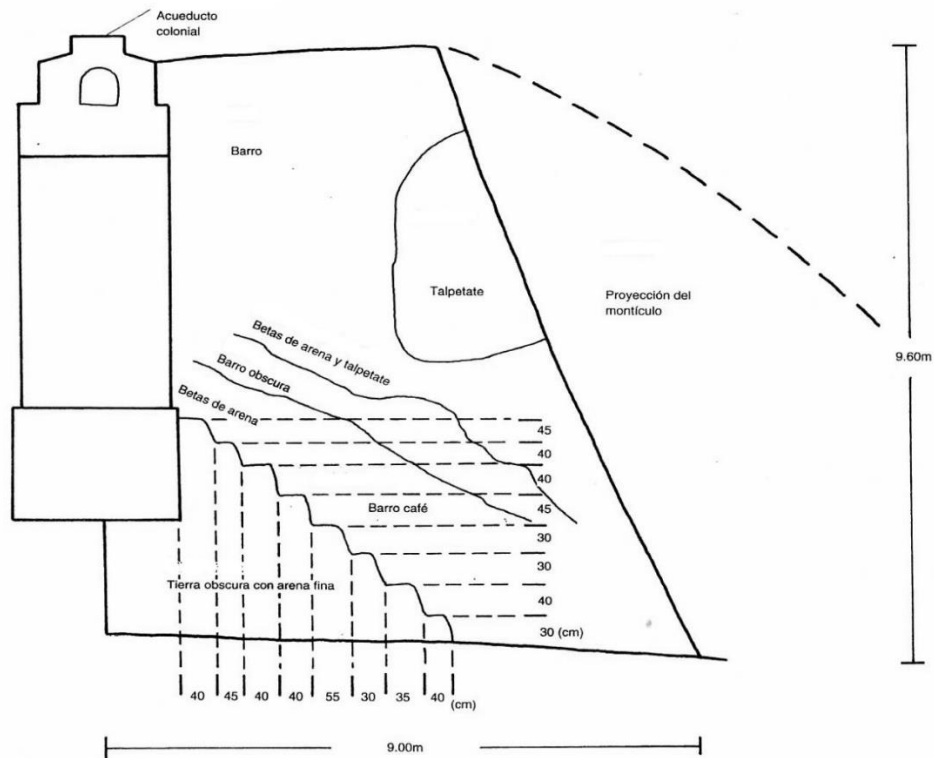
Figura 4. Corte en el Proyecto Da-Da



Fuente: Museo de Tabaco y Sal. (2001). *La Culebra Kaminaljuyú*.

A diferencia del proyecto APROVI, en los terrenos aledaños a éste, en el proyecto Las Conchas o en el proyecto COHEN, este rasgo constructivo es de barro apisonado pero quemado para proveer a la mezcla de un alto grado de dureza y compactación. Las excavaciones en el proyecto del Zoológico la Aurora también expusieron la construcción de un relleno de barro cocido en la base del montículo.

Figura 5. Corte en el Proyecto Aprovi



Fuente: Museo de Tabaco y Sal. (2001). *La Culebra Kaminaljuyú*.

Este proceso implica una técnica común en la construcción del montículo y otras estructuras en la época prehispánica, ya que este patrón estratigráfico es observado en otros sectores a lo largo del área del montículo.

Se considera que la remodelación de la capa del talpetate procesada a través del tallado para obtener una superficie uniforme se podría comparar con la función que cumple una capa de subrasante en la construcción de una carretera, y los rellenos sobrepuestos constituirían la rasante.

Una constante en la técnica constructiva en esta etapa es la colocación de una capa de arena sobre la capa del talpetate y sobre ésta, la colocación de otra capa de barro solo o mezclado con arena o talpetate, lo cual constituye el cimiento de la siguiente etapa constructiva (Ohi, 1992).

La segunda etapa constructiva consiste en la edificación de estructuras escalonadas o escalinatas que varían en el número de escalones, las cuales están construidas sobre plataformas de barro y arena fina compactada que nivelan la superficie sobre la que se sustentan funcionando como base estructural de estas edificaciones. Estas plataformas pueden ser elevadas o no, y simples de un nivel o más, como se muestra en la figura 6.

Figura 6. **Estructura escalonada en excavación Zoológico La Aurora**



Fuente: Arroyo. (2014). *Informe Final Zona Arqueológica Kaminaljuyú Temporada 2014.*

Las escalinatas están construidas a partir de nivelaciones con rellenos de barro mezclado con gran cantidad de talpetate, esta combinación le da una consistencia dura y una superficie lisa de textura fina. También las hay construidas de tierra mezclada con arena y con pómez triturada (figura 7).

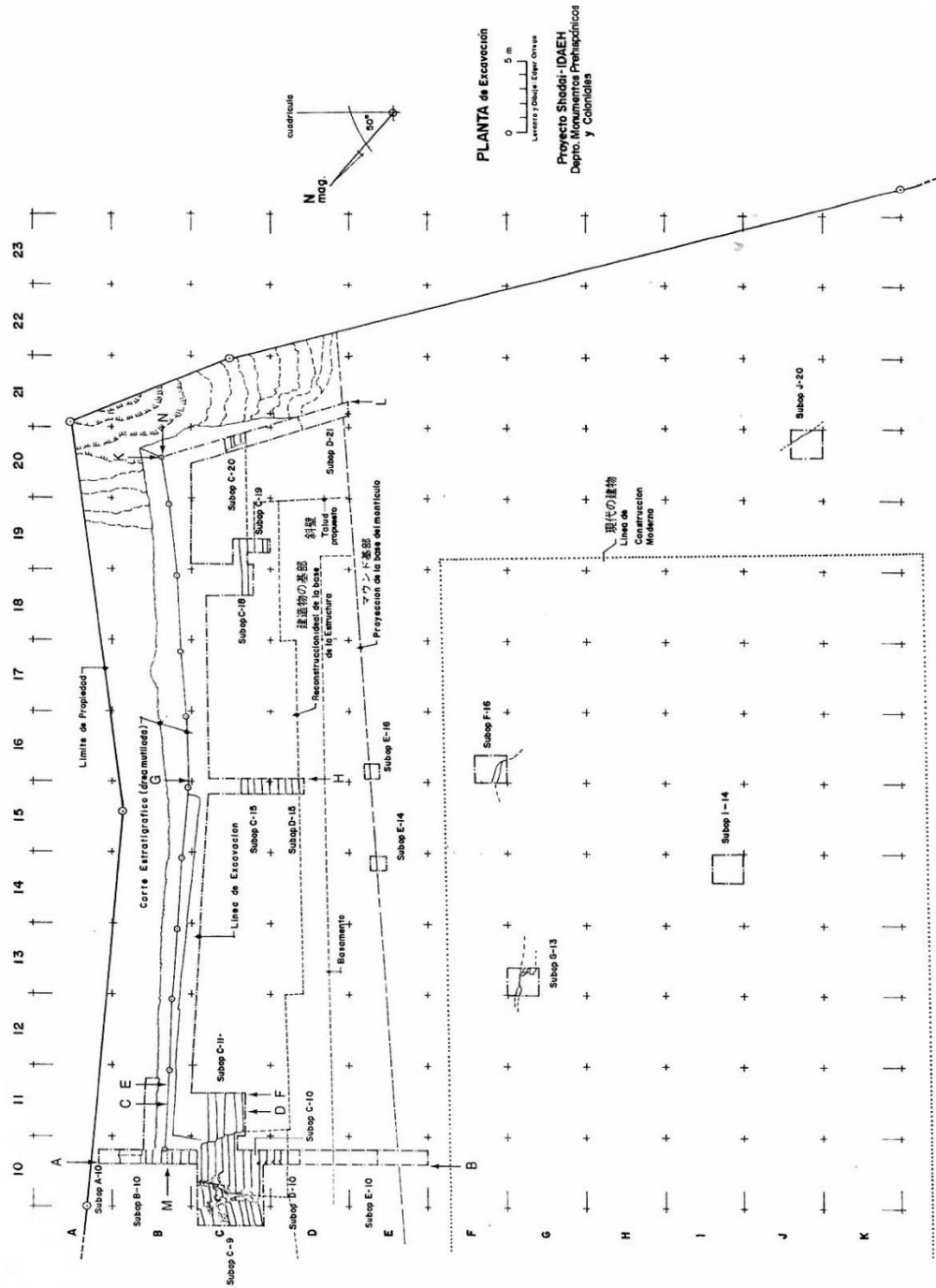
Figura 7. **Cuerpos escalonados en Proyecto Zoológico La Aurora**



Fuente: Arroyo. (2014). *Informe Final Zona Arqueológica Kaminaljuyú Temporada 2014*.

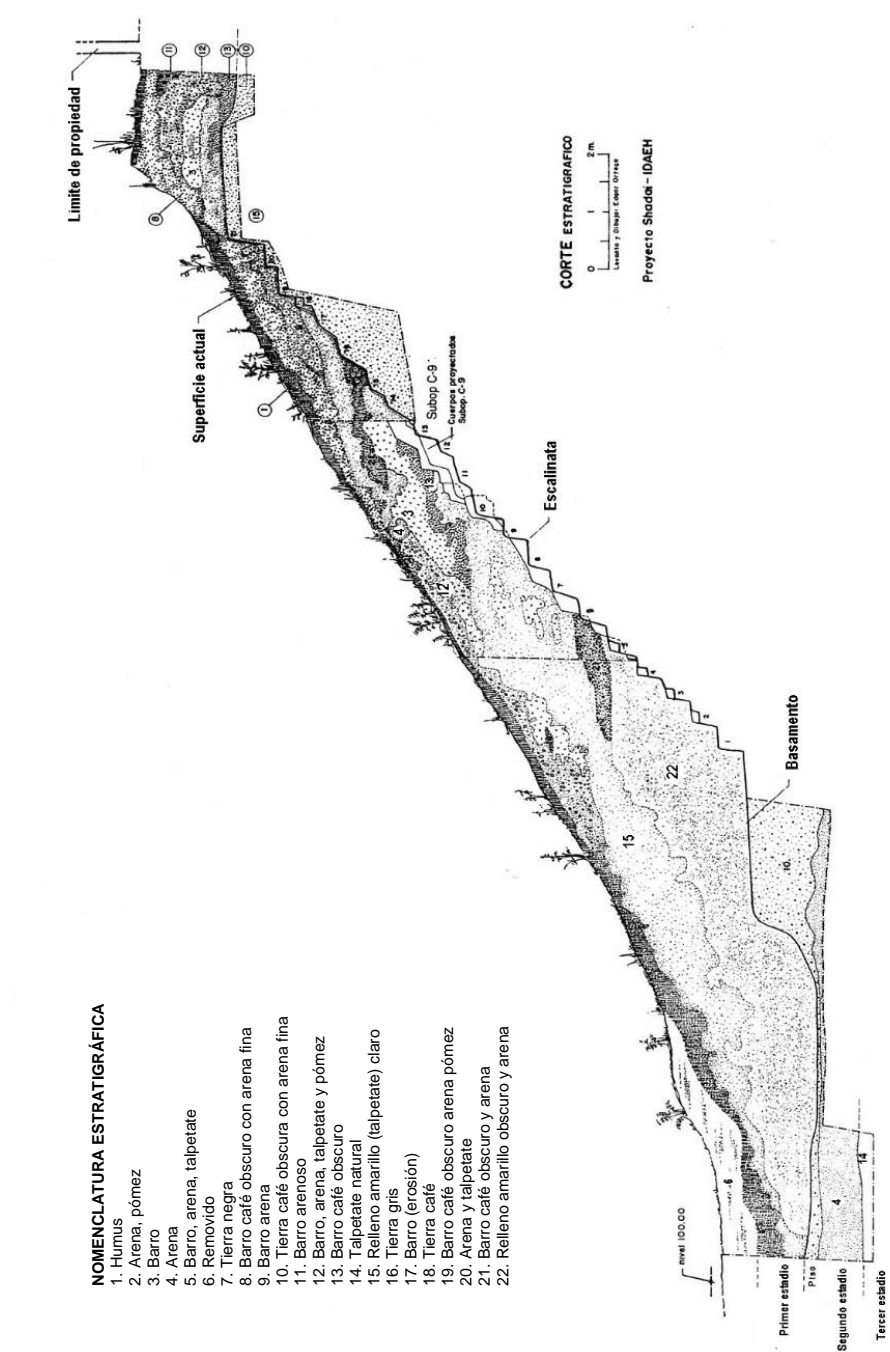
Los diferentes tipos de relleno evidencian que la construcción no fue hecha en una misma época sino gradualmente. En varios sectores del montículo se localizan estas estructuras escalonadas como en los proyectos Da-Da y en el proyecto Aprovi, así como en el proyecto Las Conchas donde fueron localizadas dos estructuras de este tipo, mientras que en el proyecto Shaddai (figura 8) se encontraron escalinatas de veintiún escalones (figura 9 y 10).

Figura 8. Planta de excavación del proyecto Shadai



Fuente: Museo de Tabaco y Sal. (2001). *La Culebra Kaminaljuyú*.

Figura 9. Perfil de excavación del proyecto Shadai



Fuente: Museo de Tabaco y Sal. (2001). *La Culebra Kaminaljuyú*.

Figura 10. **Escalinata en el Proyecto Shadai.**



Fuente: Arroyo. (2014). *Informe Final Zona Arqueológica Kaminaljuyú Temporada 2014.*

Las nivelaciones hechas con rellenos de barro quemado son un rasgo constructivo localizado generalmente en donde están construidas las estructuras con escalinatas y cuerpos escalonados. Otro detalle importante es que las escalinatas están construidas de ambos lados del montículo, lo cual puede tener un carácter ceremonial para eventos públicos y rituales que realizaban para clausurar un canal (Ortega, 1996).

La tercera etapa constructiva corresponde a los rellenos constructivos que se hicieron para cubrir desde el nivel de la capa de talpetate tallado en la base del montículo, hasta las plataformas y las estructuras que forman las escalinatas.

Finalmente, la parte superior de las estructuras escalonadas está nivelada, como se muestra en la figura 11, y sobre esta nivelación se localizan las

secciones del canal construido de lajas de basalto y un sector donde el canal está tallado en el relleno del talpetate (Valle, 2007)

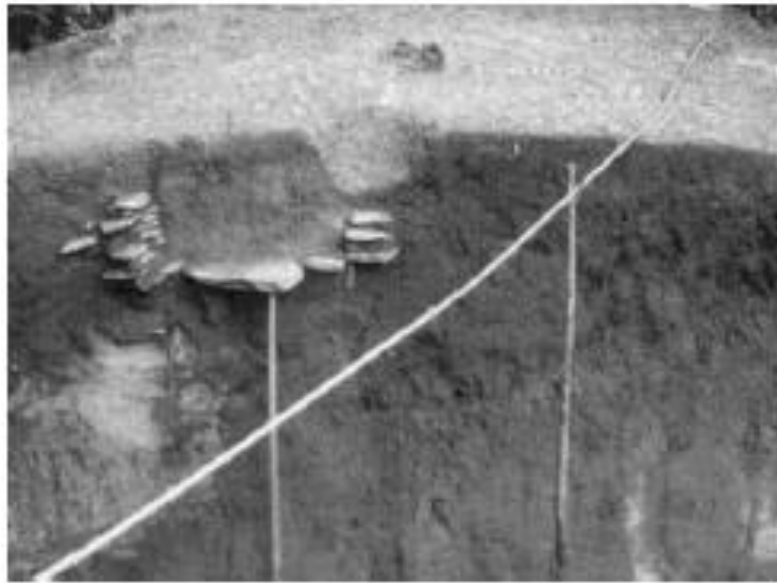
Figura 11. **Parte superior de la estructura escalonada**



Fuente: Arroyo. (2014). *Informe Final Zona Arqueológica Kaminaljuyú Temporada 2014.*

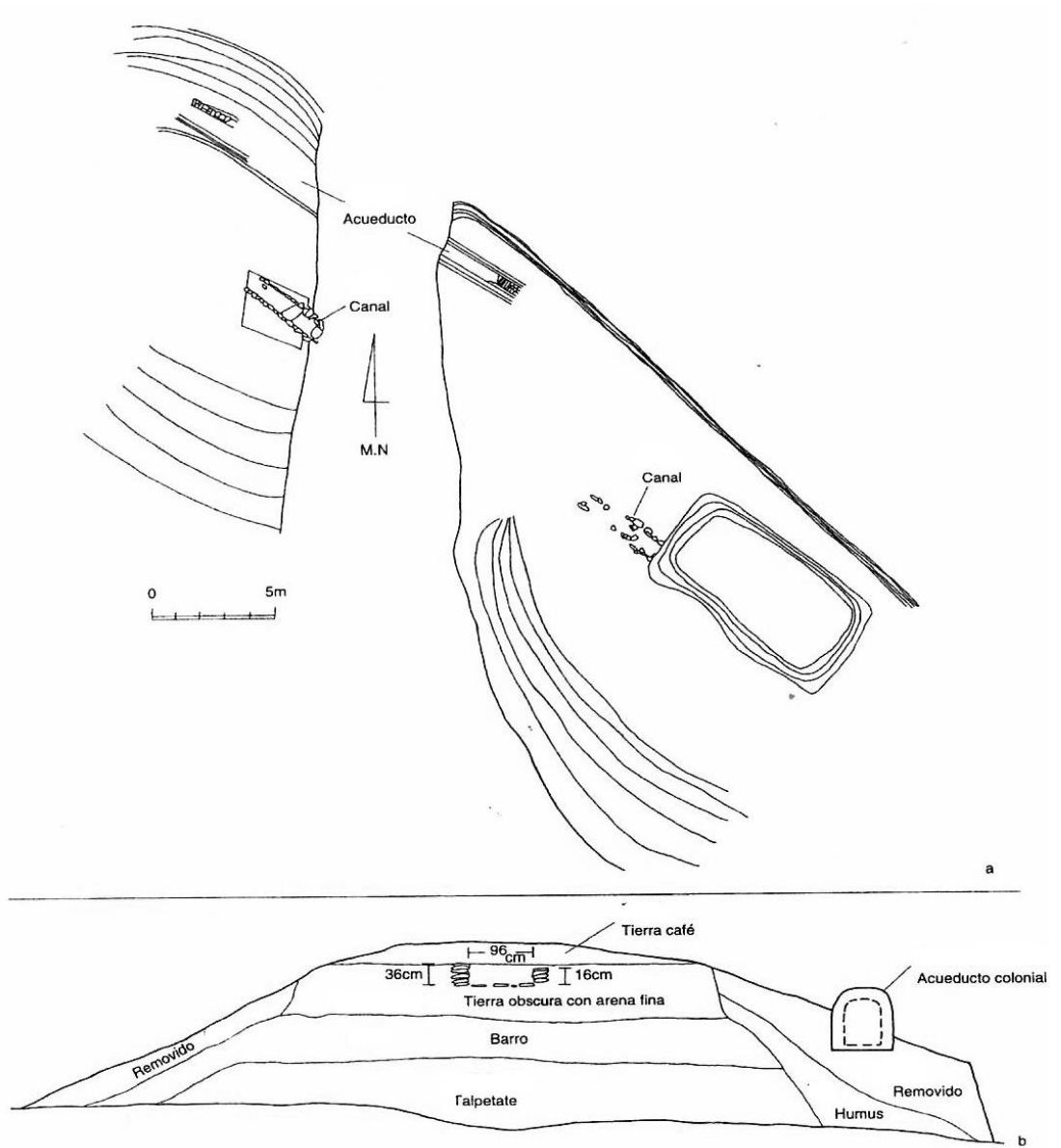
En el inicio del montículo también existe un tramo con una serie de lajas colocadas dentro del relleno que definen el canal prehispánico como se muestra en las figuras 12 y 13.

Figura 12. **Excavación en el canal prehispánico**



Fuente: Arroyo. (2014). *Informe Final Zona Arqueológica Kaminaljuyú Temporada 2014.*

Figura 13. Plano y corte del canal prehispánico



Fuente: Museo de Tabaco y Sal. (2001). La Culebra Kaminaljuyú.

2.1.5. Similitudes constructivas con obras de ingeniería en la actualidad en Guatemala

Previo a identificar los factores semejantes entre los métodos constructivos utilizados para la creación del montículo, con los métodos y conceptos utilizados en la actualidad para la construcción de obras hidráulicas; se debe resaltar la diferencia de recursos, materiales y herramientas disponibles entre el Período Preclásico y el presente milenio.

Así como la tecnología ha avanzado, se supone que también han progresado las habilidades de los seres humanos y su forma de pensar, en este sentido, las personas que realizaron las magníficas obras en el territorio Mesoamericano durante el Periodo Preclásico no contaban con maquinaria o equipo especializado que les ayudase a trabajar sus estructuras. Sin embargo, lo que hoy se puede apreciar como las ruinas de un viejo imperio y civilización, son prueba suficiente para entender que el ingenio que estas personas poseían es una característica que los define adecuadamente, la gente entonces utilizó sus propias manos como herramienta principal para llevar a cabo los proyectos ingenieriles de la época.

El propósito de construcción de canales sigue un concepto básico que es el de transporte de agua, actualmente se le atribuyen otras aplicaciones útiles que siguen el mismo principio, como por ejemplo para la recolección de agua de lluvia.

Tomando como referencia las especificaciones actuales requeridas de acuerdo con el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica del año 2016, se puede realizar una comparación con los descubrimientos realizados en el montículo.

Se puede observar que en las obras hidráulicas lo más importante es considerar el tamaño, la forma geométrica, pendientes y materiales para cumplir con ciertos aspectos:

- Erosión en canales: se debe tener en cuenta los tipos de materiales a utilizar y su grado de erosión, es decir, la manera en que reaccionan o se comportan ante la escorrentía superficial del fluido. Si bien en la actualidad es posible utilizar revestimiento, en el montículo se pudo observar que este tipo de desgaste era contrarrestado con lajas de piedra.
- Velocidad de flujo: esta depende de las condiciones del terreno, las pendientes y el alineamiento del canal. Para el diseño de canales se consideran los ajustes de longitud, ya que la velocidad mínima permisible ayudará a que no exista material sedimentado y mucho menos la formación de plantas acuáticas o musgo. Considerando la teoría sobre que una de las funciones del montículo era la de transportar materiales, entonces la velocidad del flujo debió ser cuidadosamente analizada para que las pendientes y la superficie no fueran un obstáculo para los materiales desplazados, así mismo evitando que la velocidad de estos pudiera dañar el canal.
- Pendientes: Las pendientes se establecen según el propósito de la obra, tomando en cuenta la topografía del terreno, ya que, si el canal trabaja sin válvulas o bombas que impulsen el flujo, la gravedad juega un papel importante para ejercer la suficiente energía para transportarlo hasta el punto de entrega. Actualmente otro de los factores que profundizan el concepto de la pendiente es la consideración de la rugosidad existente entre el flujo y el material de la tubería o canal.

Se sabe que la ruta de un canal no es recta ni mucho menos uniforme. En cuanto al montículo en sí, por el plano de 1606, vemos que en algunas partes no era continuo, presentando hasta dos interrupciones (Navarrete y Lujan, 1986).

Por lo tanto, para que el flujo del agua fuese continuo en el montículo, es probable que los autoridades indígenas encargadas de construirlo hayan empleado el principio de los vasos comunicantes, dónde no importando la forma de los recipientes, si estos están conectados entre sí, el agua tendría el mismo nivel en todos los recipientes, es decir, en los canales las presiones alcanzadas con una pendiente tan pronunciada permitiría al agua subir hasta el otro nivel o tramo y continuar con el curso del canal.

- Estructuras de control: si bien estas estructuras asentadas en terreno natural son vertederos colocados estratégicamente para la construcción de canales en pendientes y también para el control de erosión, hay evidencia de su utilización en los canales del Lago Miraflores, cuyos restos son apreciables en lo que hoy se conoce como Museo Miraflores y es posible que esta técnica se haya utilizado en el Montículo de La Culebra.

2.2. Materiales utilizados en la construcción del Montículo de La Culebra

Los materiales usados en la construcción del montículo encontrados en la estratigrafía de diferentes sectores se reducen a los siguientes: talpetate, arena, piedra pómez y barro, utilizados solos o mezclados, siendo estos materiales de un uso general en la arqueología del valle de Guatemala (Martínez, 1999).

Otro material importante utilizado en la construcción del canal prehispánico fueron lasaj de basalto, que como se muestra en el cuadro de la Tabla I, se localizaron en varios proyectos.

2.2.1. Descripción de los materiales encontrados

A partir del análisis en la secuencia constructiva expuesta anteriormente, tanto de la investigación resultante de los proyectos arqueológicos como del análisis de suelos de las muestras obtenidas en el área de construcción del Montículo de La Culebra, se establecieron los materiales descritos a continuación:

- Talpetate: Es la capa de suelo areno limoso de color café amarillento levemente cementado que lo hace un suelo duro y seco que puede ser tallado y fue usado en la construcción del Montículo de La Culebra de dos formas. Una de ellas fue tallando la capa natural de talpetate directamente en el terreno y la segunda de forma triturada para ser mezclado con arena, con barro o pómez. Es importante aclarar que esta descripción para el talpetate es conocida para el altiplano del país, donde está localizado el Montículo de La Culebra, porque en regiones de occidente, oriente y norte del país la definición puede ser distinta. Por ejemplo, en el norte del país en El Petén usan también el término talpetate, pero es un material completamente diferente porque allí no hay material volcánico, todo es calcáreo y usan como talpetate a un suelo endurecido.
- Arena: Es un tipo de agregado natural fino cuyas partículas son menores a 5 milímetros de diámetro retenidas por el tamiz No. 200, frecuentemente de color amarillo y fue utilizada sola o en combinación con barro y

talpetate. Se considera que en general fue utilizado como el estrato matriz en rellenos de tierra y arena fina.

- **Piedra Pómez:** Es uno de los materiales más observados en la estratigrafía del Montículo de La Culebra, es un tipo de roca ígnea volcánica, también clasificada como puzolana. La piedra pómez por su porosidad y baja densidad fue mezclada con barro y talpetate triturado cumpliendo así una función consolidante en la mezcla y para que ésta alcanzara mayor dureza se exponía al fuego o se cocía para generar así la cohesión necesaria. En ciertas unidades de excavación realizadas en el perímetro del montículo se encontraron rastros de piedra pómez y cuarzo en la composición estructural del suelo.
- **Barro:** Suelo limo arcilloso blando que permite ser moldeado al humedecerlo, formado por partículas finas que pasan por el tamiz No. 200. Fue utilizado como estabilizador estructural al ser mezclado con la arena, ya que aún en pequeñas cantidades mejora significativamente la capacidad adhesiva y aglutinante de la arena. Esta combinación es la forma más común que se utilizó en la construcción de montículos prehispánicos. Otra forma de usarlo fue como principal componente de rellenos masivos como base para superficie, sin mezclarlo con otros materiales.

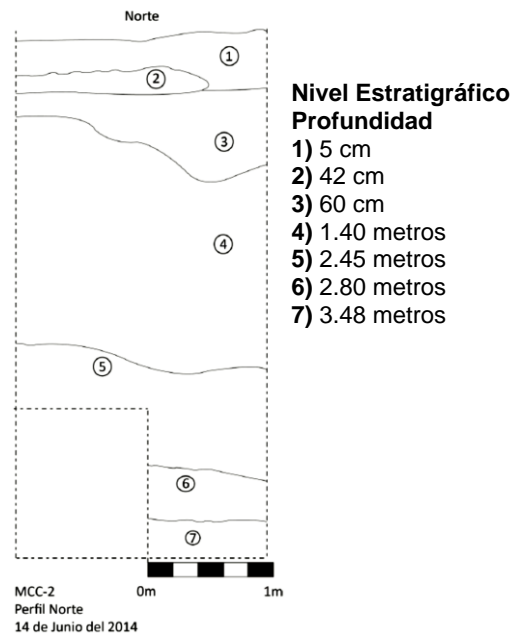
2.2.1.1. Características y propiedades físico-mecánicas

Con el fin de determinar las propiedades físicomecánicas de los materiales utilizados se obtuvo una muestra de suelo de uno de los perfiles estratigráficos

investigados por parte del Instituto de Antropología e Historia IDAEH en el Montículo de La Culebra y se procedió a realizar ensayos de laboratorio.

Las muestras analizadas pertenecen al proyecto de Rescate Arqueológico Cohen ubicado en la 18 Avenida "A" 20-95 zona 10, investigado por Leticia Miguel Ros y Luisa Escobar Galo.

Figura 14. **Perfil de excavación de proyecto arqueológico Cohen**



Fuente: Escobar y Escobar. (2014). *Proyecto de Rescate Arqueológico Cohen*.

La nomenclatura para identificar los pozos de sondeo excavados, sigue la siguiente secuencia: nombre de proyecto, número de pozo y número de nivel estratigráfico de donde se extrajo la muestra.

La nomenclatura de las muestras es MCC del pozo número dos y del nivel estratigráfico 6 que tiene una profundidad que inicia a los 2.80 metros y finaliza a 3.48 metros; por lo que las dos muestras de suelo que se analizan son las identificadas con la nomenclatura MCC-2-6 y MCC-2-6 52N.

2.2.1.2. Resultados del análisis de suelos de los materiales

El estudio de suelos de las muestras obtenidas en el Montículo de La Culebra permite establecer parámetros cuantificables y definir características similares de los suelos en diferentes sitios de investigación, para determinar si los materiales encontrados provienen del mismo origen, por lo que a continuación, se presentan los resultados del análisis realizado a las muestras identificadas como MCC-2-6 y MCC-2-6 52N.

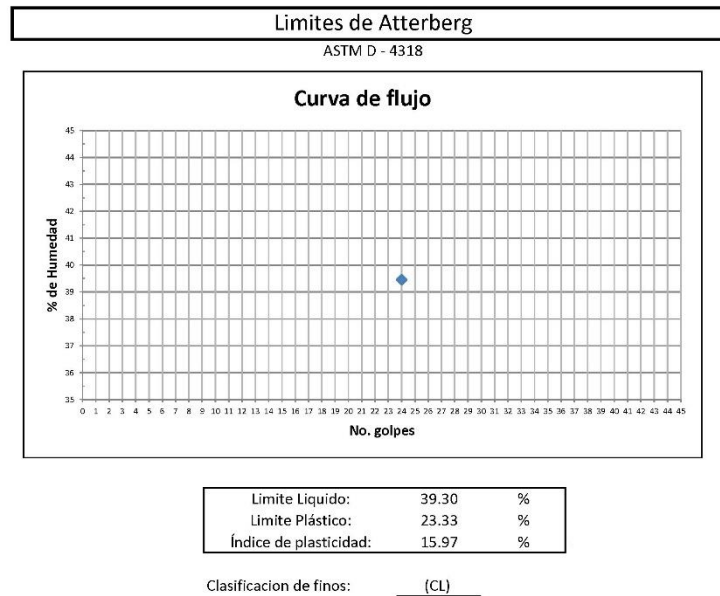
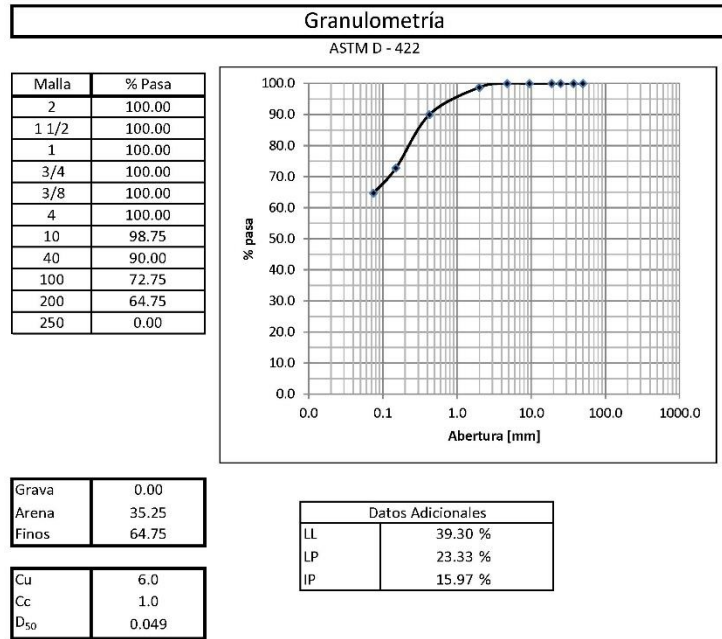
- Muestra MCC 2-6 (Material Orgánico) SN.
Aspecto: Grumoso / Aglomerado. Profusa matriz limosa de baja plasticidad en la que se encuentran embebidas partículas
Color: Café oscuro.

Figura 15. **Muestra MCC2-6 analizada**



Fuente Ingeotecnia. (2021). *Caracterización geotécnica del suelo de cimentación del montículo La Culebra.*

Figura 16. Resultados de análisis de muestra MCC 2-6.



Fuente Ingeotecnia. (2021). *Caracterización geotécnica del suelo de cimentación del montículo La Culebra.*

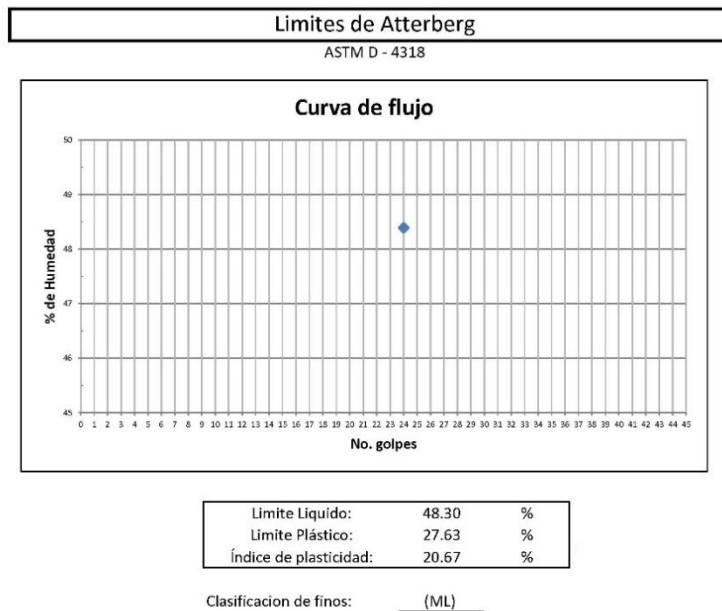
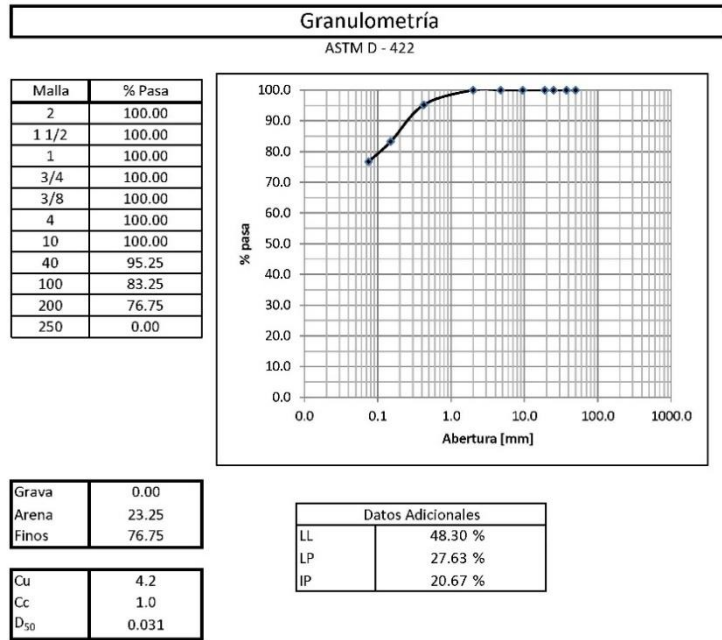
- Muestra MCC-2-6 52N
Aspecto: Grumoso / Aglomerado. Profusa matriz limosa de baja plasticidad en la que se encuentran embebidas partículas.
Color: Café oscuro.

Figura 17. **Muestra MCC2-6 52N analizada**



Fuente Ingeotecnia. (2021). *Caracterización geotécnica del suelo de cimentación del montículo La Culebra.*

Figura 18. Resultados de análisis de muestra MCC 2-6 52N.



Fuente Ingeotecnia. (2021). *Caracterización geotécnica del suelo de cimentación del montículo La Culebra.*

De acuerdo con los resultados obtenidos, la composición mineralógica de las partículas de arena, las cuales son las que quedan retenidas en la malla 200; es similar para ambas muestras, siendo los principales componentes los siguientes: plagioclasa (50), cuarzo (25), aglomerados (20), magnetita (3), otros (2).

Estos minerales representan entre un 25 a 30 % del peso de la muestra y el resto está formado por partículas finas (menores a malla 200), de composición de limos y arcillas; las cuales son difíciles de caracterizar en un microscopio normal.

3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE TRAMO DEL MONTÍCULO DE LA CULEBRA

3.1. Delimitación del área a medir

El levantamiento topográfico tuvo lugar en un tramo del Montículo de La Culebra con una longitud de 835.45 metros, localizado sobre el Boulevard Liberación de la zona 9 de la ciudad capital, desde la 14^a calle hasta la 7^a avenida, a la altura de la Plaza Obelisco.

Para el levantamiento se utilizó una estación total Sokkia Set 610, tomando como referencia el sistema de coordenadas UTM, aunque también se consideraron las referencias de las coordenadas locales GTM.

3.1.1. Criterios y observaciones tomadas en cuenta para el levantamiento topográfico

Del tramo propuesto para el levantamiento topográfico, uno de los lados del montículo es apreciable en la vía pública desde el Boulevard Liberación; sin embargo, el lado opuesto se ubica dentro de las instalaciones del Zoológico La Aurora y del Aeropuerto La Aurora, donde no se permitió el acceso para realizar la medición. En otros sectores, la estructura del Acueducto de Pinula también dificulta la medición.

3.2. Proceso, cálculo y dibujo de la topografía

A partir de la delimitación de la sección del montículo para el levantamiento topográfico, el proceso se llevó a cabo de acuerdo con las especificaciones descritas a continuación.

3.2.1. Equipo Utilizado en la medición topográfica

Para el levantamiento topográfico del Montículo de La Culebra, se utilizó el siguiente equipo:

- Estación total Sokkia Set 610
- Prismas topográficos Sokkia
- Estacas y clavos de acero como referencia
- Plomadas

3.2.2. Metodología utilizada en el proceso de medición

Se procedió a establecer cinco estaciones a lo largo del tramo seleccionado del montículo, tomando la estación número 1 como el inicio del levantamiento en la banqueta frente al Monumento a la Raza Indígena, ubicado al sureste del Reloj de Flores y al final de la 7ª avenida sur de la zona 9. Esta estación se enlazó con el punto geodésico Ciudad-3 del Instituto Geográfico Nacional, el cual se utilizó como cota fija para referenciar geográficamente el levantamiento realizado. Este punto está incrustado en el interior de la pileta al pie del monumento mencionado en el arriate central del Boulevard Liberación

Posteriormente se procedió a medir las radiaciones necesarias en secciones del montículo, desde la base hasta la cúspide de éste, en cada una de las cinco estaciones.

Al terminar el trabajo de campo se procedió a descargar los puntos recabados de la estación total e importarlos para generar la libreta de campo correspondiente.

Para el postproceso de la información se utilizó el *software* AutoCAD Civil 3D, con el que se generó la superficie que define el tramo del montículo a partir de la base de datos descargada. Con esta superficie se procede al desarrollo de las curvas de nivel, el perfil longitudinal y secciones transversales del montículo.

3.2.3. Construcción de la Libreta Topográfica

Del levantamiento topográfico se generaron los datos descargándolos de la estación total a un formato de texto delimitado por comas (CSV).

En la tabla II, se presenta la tabla con los puntos obtenidos en la medición topográfica de campo incluyendo las coordenadas norte y este (utilizando como referencia el sistema UTM), la elevación (en metros sobre el nivel del mar) y la descripción del punto.

Tabla II. **Libreta Topográfica Coordenadas UTM.**

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
1	1,615,218.507	766,856.765	1505.546	Estación
2	1,615,109.237	766,925.707	1509.690	Malla
3	1,615,115.053	766,932.575	1504.415	Base montículo
4	1,615,092.954	766,938.412	1509.087	Malla
5	1,615,098.380	766,943.018	1504.767	Referencia
6	1,615,100.323	766,945.288	1504.175	Cota
7	1,615,079.433	766,954.918	1503.782	Fuente
8	1,615,080.627	766,959.128	1503.770	Fuente
9	1,615,084.933	766,956.151	1503.781	Fuente
10	1,615,098.499	766,998.124	1503.174	Reloj de Flores
11	1,615,091.048	767,010.400	1503.170	Reloj de Flores
12	1,615,103.320	767,015.674	1503.175	Reloj de Flores
13	1,614,987.621	767,154.794	1504.931	Estación
14	1,615,023.187	767,026.273	1505.095	Cota
15	1,615,022.958	767,029.525	1504.366	Cota
16	1,614,986.241	767,124.772	1511.058	Cota
17	1,614,997.905	767,127.970	1504.663	Cota
18	1,614,978.596	767,149.284	1510.864	Cota
19	1,614,974.460	767,157.743	1511.159	Cota
20	1,614,973.159	767,162.960	1508.649	Cota
21	1,614,977.391	767,166.282	1505.999	Cota
22	1,614,986.563	767,163.621	1504.553	Cota
23	1,614,990.367	767,155.624	1504.524	Cota
24	1,614,955.816	767,251.812	1504.679	Estación
25	1,614,961.310	767,193.321	1506.346	Cota
26	1,614,968.373	767,196.989	1504.290	Cota
27	1,614,947.976	767,230.448	1511.143	Cota
28	1,614,957.022	767,234.570	1505.296	Cota
29	1,614,941.405	767,249.768	1510.895	Cota
30	1,614,951.960	767,253.974	1505.282	Cota
31	1,614,933.657	767,270.958	1511.189	Cota
32	1,614,943.776	767,275.208	1505.432	Cota
33	1,614,928.559	767,285.812	1510.961	Cota
34	1,614,937.825	767,289.995	1505.470	Cota
35	1,615,209.767	766,859.408	1506.352	Cota
36	1,615,211.372	766,861.371	1505.380	Cota

Continuación tabla II.

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
37	1,615,212.754	766,863.015	1505.331	Cota
38	1,615,227.201	766,843.777	1508.423	Cota
39	1,615,229.821	766,847.340	1505.568	Cota
40	1,615,230.867	766,848.819	1505.432	Cota
41	1,615,231.288	766,849.753	1504.713	Cota
42	1,615,239.885	766,834.131	1509.257	Cota
43	1,615,242.787	766,837.362	1505.328	Cota
44	1,615,243.777	766,838.865	1505.101	Cota
45	1,615,244.312	766,839.185	1504.838	Cota
46	1,615,254.603	766,825.743	1506.902	Cota
47	1,615,256.467	766,828.064	1505.439	Cota
48	1,615,257.094	766,828.660	1504.876	Cota
49	1,615,435.327	766,676.825	1508.264	Estación
50	1,615,405.730	766,687.476	1509.899	Cota
51	1,615,412.338	766,695.059	1507.660	Cota
52	1,615,414.528	766,697.186	1507.469	Cota
53	1,615,426.680	766,670.614	1511.550	Cota
54	1,615,437.605	766,678.743	1507.788	Cota
55	1,615,439.777	766,660.272	1510.096	Cota
56	1,615,443.426	766,664.146	1509.751	Cota
57	1,615,448.121	766,670.241	1507.921	Cota
58	1,615,446.741	766,654.351	1512.097	Cota
59	1,615,448.555	766,656.306	1511.732	Cota
60	1,615,453.012	766,662.124	1509.095	Cota
61	1,615,455.527	766,647.346	1512.206	Cota
62	1,615,461.763	766,651.262	1509.765	Base montículo
63	1,615,107.185	766,951.397	1503.512	Estación
64	1,615,342.461	766,743.425	1509.654	Cota
65	1,615,348.553	766,752.282	1506.382	Cota
66	1,615,252.041	766,823.382	1509.304	Cota
67	1,615,290.187	766,789.650	1509.452	Cota
68	1,615,295.485	766,794.770	1505.995	Cota
69	1,615,296.846	766,795.463	1505.531	Cota
70	1,615,346.886	766,750.910	1506.727	Cota
71	1,615,384.893	766,705.903	1509.818	Cota
72	1,615,392.266	766,712.187	1507.374	Cota
73	1,615,394.330	766,714.053	1507.136	Cota

Continuación tabla II.

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
74	1,615,364.068	766,724.318	1509.738	Cota
75	1,615,369.235	766,731.839	1507.046	Cota
76	1,615,371.712	766,732.942	1506.764	Cota
77	1,615,191.327	766,868.692	1508.808	Cota
78	1,615,195.800	766,875.085	1505.172	Cota
79	1,615,159.620	766,890.714	1509.149	Cota
80	1,615,164.818	766,897.143	1504.882	Cota
81	1,615,129.662	766,911.521	1509.471	Cota
82	1,615,133.487	766,919.450	1504.588	Cota
83	1,615,076.419	766,951.255	1508.712	Cota
84	1,615,057.794	766,987.000	1504.006	Cota
85	1,615,056.458	766,984.065	1504.318	Cota
86	1,615,053.883	766,979.843	1509.238	Cota
87	1,615,035.188	767,014.596	1504.240	Cota
88	1,615,033.512	767,013.174	1504.854	Cota
89	1,615,029.881	767,010.292	1509.798	Cota
90	1,615,020.173	767,022.609	1510.025	Cota
91	1,615,434.398	766,654.624	1510.092	Cota
92	1,615,421.750	766,665.320	1511.552	Cota
93	1,615,402.372	766,683.005	1509.902	Cota
94	1,615,380.396	766,699.829	1509.822	Cota
95	1,615,359.301	766,718.827	1509.742	Cota
96	1,615,338.214	766,737.912	1509.652	Cota
97	1,615,286.027	766,785.219	1509.452	Cota
98	1,615,247.692	766,819.222	1509.302	Cota
99	1,615,237.168	766,829.650	1509.252	Cota
100	1,615,223.603	766,839.964	1508.422	Cota
101	1,615,188.184	766,863.763	1508.812	Cota
102	1,615,156.342	766,886.182	1509.152	Cota
103	1,615,126.903	766,906.122	1509.472	Cota
104	1,615,105.733	766,921.546	1509.692	Cota
105	1,615,089.462	766,934.546	1509.092	Cota
106	1,615,073.994	766,947.961	1508.712	Cota
107	1,615,050.451	766,977.525	1509.242	Cota
108	1,615,026.297	767,008.084	1509.802	Cota
109	1,615,017.475	767,019.466	1510.022	Cota
110	1,614,982.104	767,122.774	1511.062	Cota
111	1,614,968.316	767,160.725	1508.652	Cota
112	1,614,956.983	767,191.179	1510.012	Cota

Continuación tabla II.

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
113	1,614,943.239	767,228.559	1511.142	Cota
114	1,614,936.718	767,248.623	1510.892	Cota
115	1,614,929.970	767,269.538	1511.192	Cota
116	1,614,925.216	767,283.651	1510.962	Cota

Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD Civil 3D 2019.

Los puntos obtenidos se convirtieron al sistema de coordenadas GTM, los cuales se presentan en la tabla III.

Tabla III. **Libreta Topográfica en Coordenadas GTM**

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
1	1,614,087.76	497,518.07	1505.546	Estación
2	1,613,977.72	497,585.78	1509.690	Malla
3	1,613,983.46	497,592.72	1504.415	Base montículo
4	1,613,961.30	497,598.31	1509.087	Malla
5	1,613,966.67	497,602.97	1504.767	Referencia
6	1,613,968.59	497,605.26	1504.175	Cota
7	1,613,947.59	497,614.66	1503.782	Fuente
8	1,613,948.74	497,618.88	1503.770	Fuente
9	1,613,953.08	497,615.95	1503.781	Fuente
10	1,613,966.17	497,658.08	1503.174	Reloj de Flores
11	1,613,958.58	497,670.27	1503.170	Reloj de Flores
12	1,613,970.80	497,675.68	1503.175	Reloj de Flores
13	1,613,853.54	497,813.49	1504.931	Estación
14	1,613,890.55	497,685.38	1505.095	Cota
15	1,613,890.28	497,688.63	1504.366	Cota
16	1,613,852.50	497,783.46	1511.058	Cota
17	1,613,864.13	497,786.79	1504.663	Cota
18	1,613,844.58	497,807.88	1510.864	Cota
19	1,613,840.35	497,816.29	1511.159	Cota
20	1,613,838.99	497,821.50	1508.649	Cota
21	1,613,843.19	497,824.87	1505.999	Cota
22	1,613,852.39	497,822.31	1504.553	Cota
23	1,613,856.28	497,814.35	1504.524	Cota
24	1,613,820.65	497,910.15	1504.679	Estación
25	1,613,826.80	497,851.72	1506.346	Cota
26	1,613,833.82	497,855.47	1504.290	Cota
27	1,613,813.05	497,888.70	1511.143	Cota
28	1,613,822.05	497,892.92	1505.296	Cota
29	1,613,806.27	497,907.94	1510.895	Cota
30	1,613,816.77	497,912.27	1505.282	Cota
31	1,613,798.28	497,929.04	1511.189	Cota
32	1,613,808.35	497,933.41	1505.432	Cota
33	1,613,793.02	497,943.84	1510.961	Cota
34	1,613,802.24	497,948.13	1505.470	Cota
35	1,614,078.99	497,520.62	1506.352	Cota
36	1,614,080.57	497,522.60	1505.380	Cota
37	1,614,081.93	497,524.26	1505.331	Cota
38	1,614,096.60	497,505.18	1508.423	Cota

Continuación de la tabla III.

Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
39	1,614,099.18	497,508.77	1505.568	Cota
40	1,614,100.21	497,510.26	1505.432	Cota
41	1,614,100.62	497,511.20	1504.713	Cota
42	1,614,109.39	497,495.68	1509.257	Cota
43	1,614,112.25	497,498.94	1505.328	Cota
44	1,614,113.23	497,500.46	1505.101	Cota
45	1,614,113.76	497,500.78	1504.838	Cota
46	1,614,124.20	497,487.46	1506.902	Cota
47	1,614,126.04	497,489.80	1505.439	Cota
48	1,614,126.66	497,490.40	1504.876	Cota
49	1,614,306.58	497,340.57	1508.264	Estación
50	1,614,276.87	497,350.89	1509.899	Cota
51	1,614,283.39	497,358.55	1507.660	Cota
52	1,614,285.55	497,360.70	1507.469	Cota
53	1,614,298.00	497,334.27	1511.550	Cota
54	1,614,308.84	497,342.52	1507.788	Cota
55	1,614,311.22	497,324.07	1510.096	Cota
56	1,614,314.82	497,327.99	1509.751	Cota
57	1,614,319.45	497,334.13	1507.921	Cota
58	1,614,318.25	497,318.23	1512.097	Cota
59	1,614,320.04	497,320.20	1511.732	Cota
60	1,614,324.43	497,326.07	1509.095	Cota
61	1,614,327.11	497,311.32	1512.206	Cota
62	1,614,333.30	497,315.31	1509.765	Base montículo
63	1,613,975.38	497,611.45	1503.512	Estación
64	1,614,212.97	497,406.13	1509.654	Cota
65	1,614,218.97	497,415.05	1506.382	Cota
66	1,614,121.66	497,485.07	1509.304	Cota
67	1,614,160.19	497,451.76	1509.452	Cota
68	1,614,165.42	497,456.94	1505.995	Cota
69	1,614,166.78	497,457.65	1505.531	Cota
70	1,614,217.31	497,413.66	1506.727	Cota
71	1,614,255.82	497,369.08	1509.818	Cota
72	1,614,263.13	497,375.45	1507.374	Cota
73	1,614,265.17	497,377.34	1507.136	Cota
74	1,614,234.79	497,387.26	1509.738	Cota
75	1,614,239.88	497,394.84	1507.046	Cota
76	1,614,242.34	497,395.97	1506.764	Cota
77	1,614,060.44	497,529.69	1508.808	Cota
78	1,614,064.85	497,536.14	1505.172	Cota

Continuación de la tabla III.

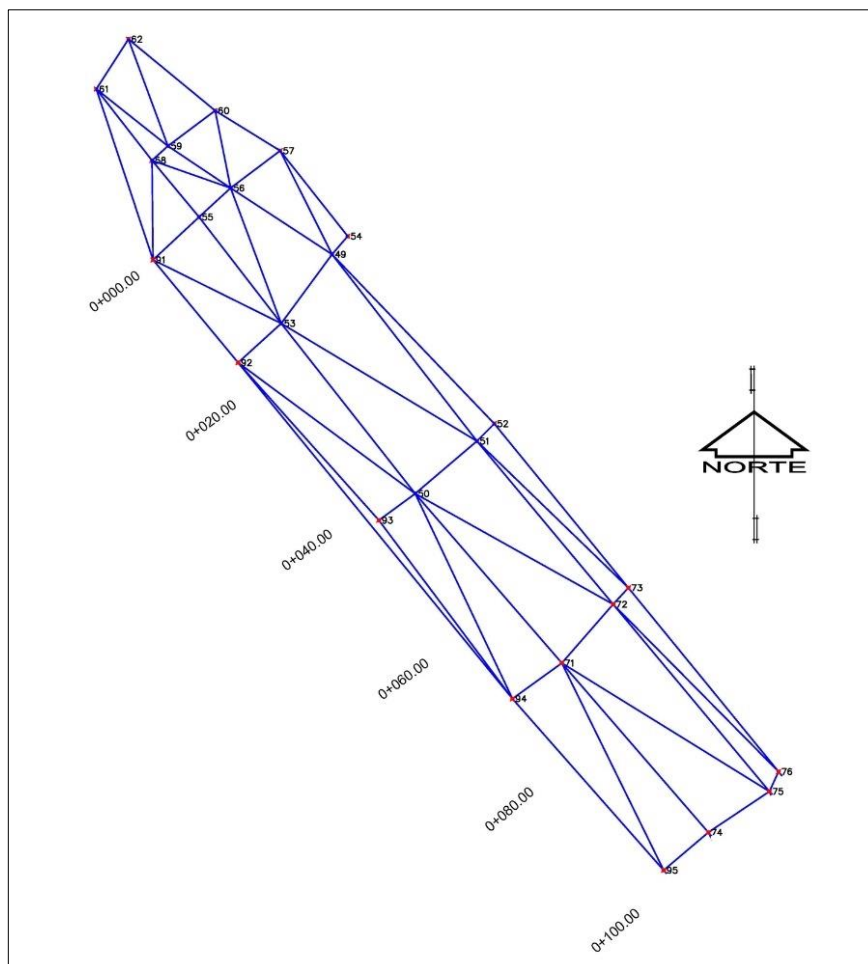
Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m)	Descripción
79	1,614,028.49	497,551.36	1509.149	Cota
80	1,614,033.62	497,557.85	1504.882	Cota
81	1,613,998.30	497,571.83	1509.471	Cota
82	1,614,002.04	497,579.80	1504.588	Cota
83	1,613,944.62	497,610.96	1508.712	Cota
84	1,613,925.59	497,646.50	1504.006	Cota
85	1,613,924.29	497,643.55	1504.318	Cota
86	1,613,921.76	497,639.30	1509.238	Cota
87	1,613,902.68	497,673.84	1504.240	Cota
88	1,613,901.02	497,672.40	1504.854	Cota
89	1,613,897.42	497,669.47	1509.798	Cota
90	1,613,887.58	497,681.68	1510.025	Cota
91	1,614,305.90	497,318.36	1510.092	Cota
92	1,614,293.13	497,328.92	1511.552	Cota
93	1,614,273.56	497,346.38	1509.902	Cota
94	1,614,251.40	497,362.96	1509.822	Cota
95	1,614,230.09	497,381.72	1509.742	Cota
96	1,614,208.79	497,400.57	1509.652	Cota
97	1,614,156.07	497,447.29	1509.452	Cota
98	1,614,117.36	497,480.86	1509.302	Cota
99	1,614,106.72	497,491.17	1509.252	Cota
100	1,614,093.04	497,501.33	1508.422	Cota
101	1,614,057.36	497,524.73	1508.812	Cota
102	1,614,025.27	497,546.79	1509.152	Cota
103	1,613,995.61	497,566.40	1509.472	Cota
104	1,613,974.26	497,581.58	1509.692	Cota
105	1,613,957.85	497,594.40	1509.092	Cota
106	1,613,942.23	497,607.64	1508.712	Cota
107	1,613,918.36	497,636.94	1509.242	Cota
108	1,613,893.86	497,667.23	1509.802	Cota
109	1,613,884.91	497,678.51	1510.022	Cota
110	1,613,848.39	497,781.41	1511.062	Cota
111	1,613,834.17	497,819.21	1508.652	Cota
112	1,613,822.50	497,849.53	1510.012	Cota
113	1,613,808.34	497,886.76	1511.142	Cota
114	1,613,801.59	497,906.75	1510.892	Cota
115	1,613,794.61	497,927.58	1511.192	Cota
116	1,613,789.70	497,941.64	1510.962	Cota

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

3.3. Planta, Perfiles y Curvas de Nivel

Para el proceso posterior de los datos se utilizó el *software* AutoCAD Civil 3D, con el cual se realizó como primer paso, la generación de la superficie que define el tramo del montículo. A continuación, se presenta la sección de los primeros 100 metros de la superficie generada (figura 19).

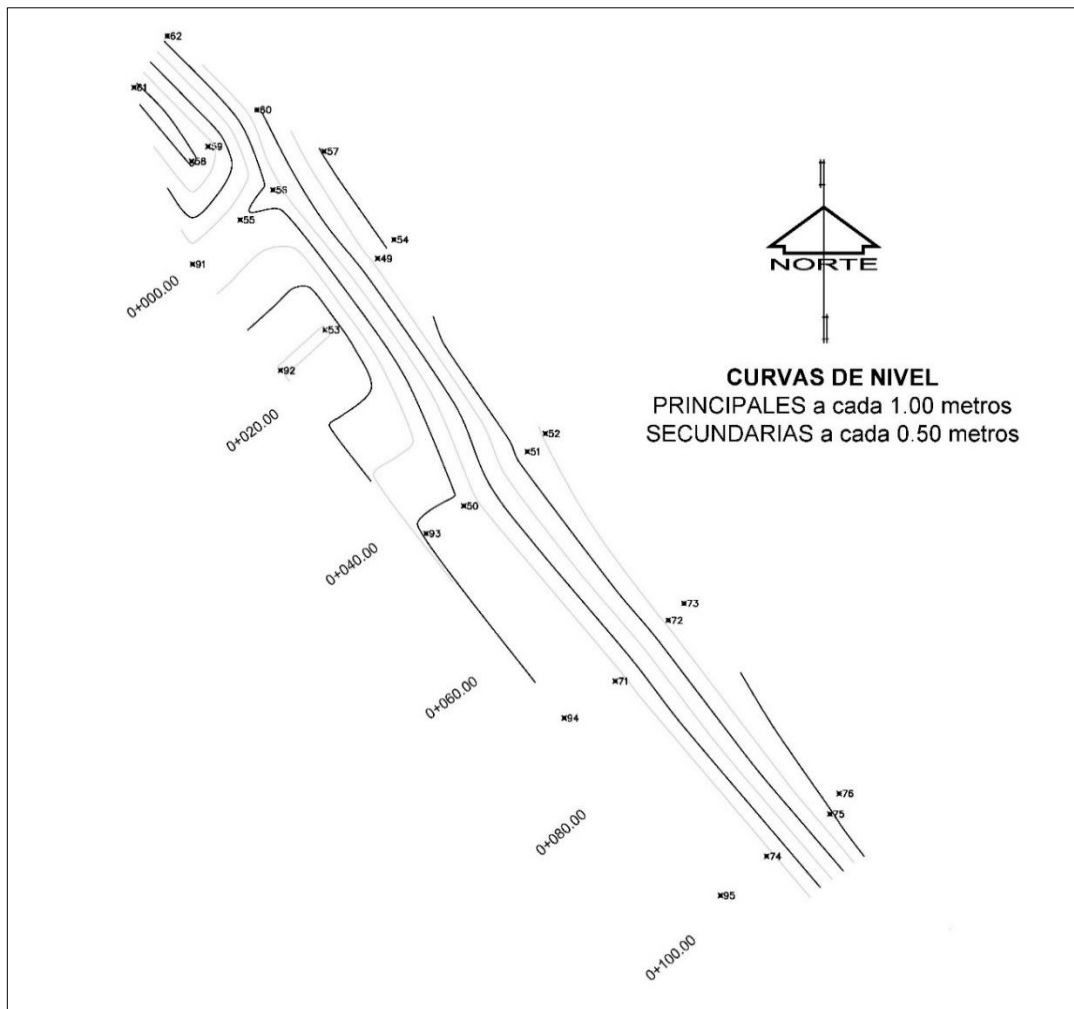
Figura 19. **Sección de la superficie generada a partir del levantamiento**



Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.

Con esta superficie se procede a la generación de las curvas de nivel, que representan las diferencias de elevaciones del terreno donde se realizó el levantamiento topográfico. Las curvas de nivel se generaron con los puntos descargados que se midieron desde la base del montículo sobre la acera a la cúspide del montículo, y se presentan a continuación (figura 20), las curvas correspondientes a los primeros 100 metros del levantamiento.

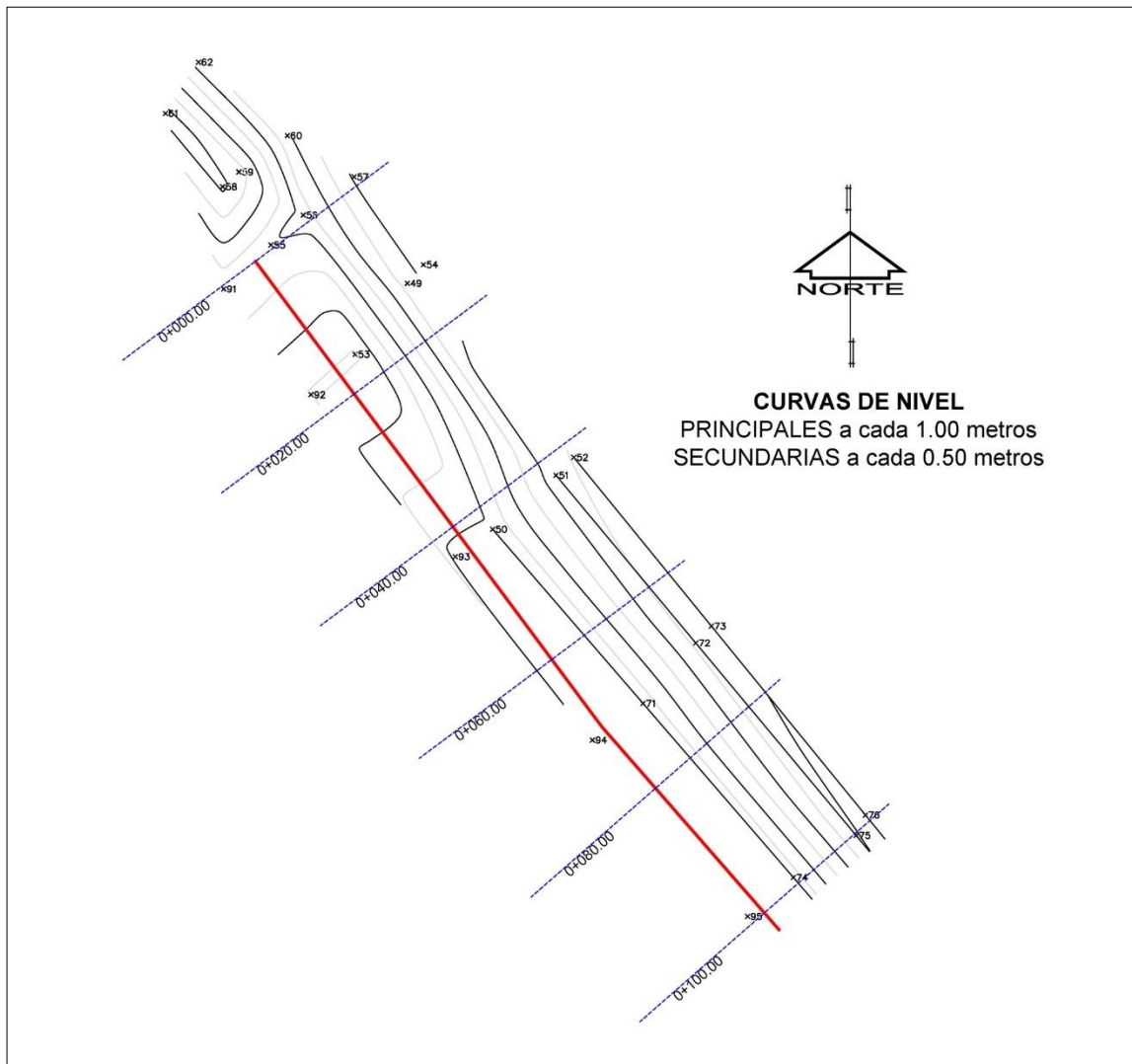
Figura 20. **Curvas de nivel generadas a partir del levantamiento**



Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.

A continuación, se realizó el trazo del eje longitudinal en el vértice del montículo, a partir del cual se establece el caminamiento que inicia en el origen 0+000 y termina en la estación 0+835, que es la longitud total del levantamiento.

Figura 21. Eje longitudinal y trazo de líneas para generar secciones

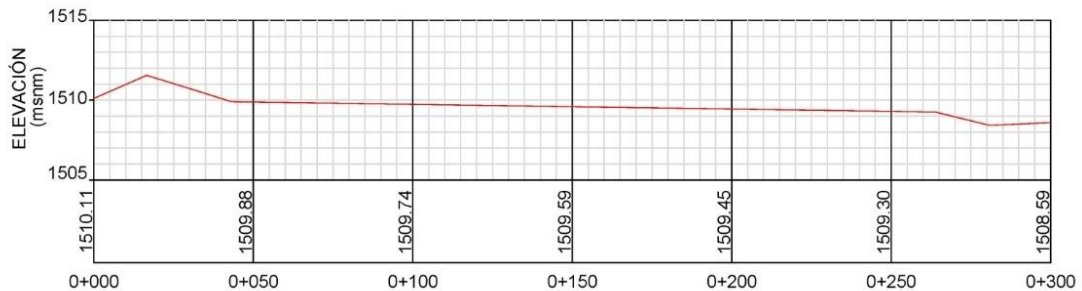


Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.

Con esta información se realizó el trazo del perfil longitudinal, el cual representa el cambio de las elevaciones en los distintos estacionamientos a lo largo del montículo.

En la figura 22 se presenta la sección del perfil longitudinal entre el inicio del levantamiento y la estación 0+300.

Figura 22. **Perfil generado a partir de la superficie y el eje longitudinal**

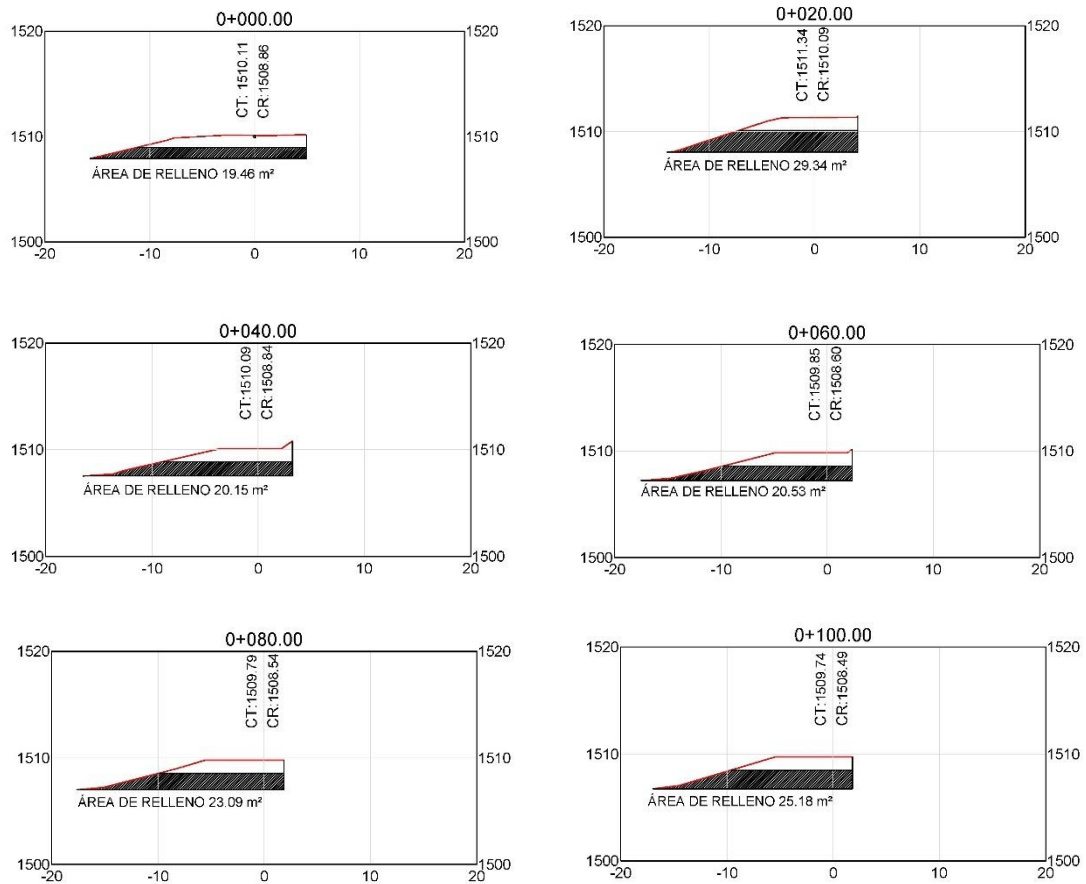


Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.

Del caminamiento trazado en el eje longitudinal, se generan secciones transversales a cada veinte metros para el cálculo del volumen de material y cuantificar el movimiento de tierras.

En la figura 23 se presentan las secciones correspondientes a los primeros 100 metros del levantamiento.

Figura 23. Secciones transversales generadas



Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.

En las secciones transversales se observa que el área de relleno no está tomada en cuenta hasta la cota más alta del montículo, ya que de ésta se restó el valor de 1.20 metros considerada como la profundidad de humus, tierra y materia orgánica acumulada sobre el canal a lo largo del tiempo. Este valor se estableció de los perfiles del estudio realizado por Andrea Rojas en el proyecto del Zoológico la Aurora; razón por la cual esta área no se toma en cuenta para el cálculo de volúmenes del material de relleno.

3.4. Cálculo de Movimiento de Tierra

El movimiento de tierras corresponde a la transformación geométrica del terreno que está bajo análisis, este proceso debe cuantificarse para determinar el volumen de material a extraer o agregar para crear una nueva superficie. Sin embargo, este tipo de procedimientos no son necesariamente exclusivos para efectos constructivos, en el caso de esta investigación se consideró el análisis del movimiento de tierra para estimar la cantidad de material utilizado en la construcción del montículo.

Del estudio del Montículo de La Culebra, se utilizaron los datos recopilados del levantamiento topográfico y tomando como referencia la planta y perfil del eje longitudinal, se construyó la tabla para cálculo del movimiento de tierras, la cual describe el caminamiento que se observa en la planta topográfica, las cotas del terreno, cotas de relleno y el área de relleno en metros cuadrados.

El procedimiento de cálculo para el volumen parcial de relleno y el volumen acumulado en metros cúbicos, se determina a partir de la diferencia entre las cotas del terreno y las del relleno en cada sección transversal del perfil. Con esta diferencia de altura se calcula el área de cada sección y el promedio del área de inicio con la del final del tramo por la longitud de cada sección, que generalmente es veinte metros, proporciona el volumen parcial del relleno de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Diferencia de Cotras} = \text{Cota de Terreno} - \text{Cota de Relleno}$$

$$\text{Diferencia de Cotras} = 106.600 - 105.460 = 1.140 \text{ m}$$

$$\text{VPR} = \left(\frac{\text{Área de Relleno}_o + \text{Área de Relleno}_f}{2} \right) (\text{Caminamiento}_f - \text{Caminamiento}_o)$$

$$\text{VPR} = 1/2 * (19.462 + 29.335) * (0 + 20.00 - 0 + 000.00) = 487.97 \text{ m}^3$$

El volumen parcial de cada sección se va sumando para obtener la totalidad del volumen en metros cúbicos del relleno, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla IV. **Reporte de movimiento de tierras**

Caminamiento	Cota de terreno	Cota de relleno	Diferencia de cotas	Área de relleno	Volumen parcial de relleno	Volumen acumulado de relleno
0+000.00	106.60	105.46	1.14	19.46	0.00	0.00
0+020.00	107.83	106.60	1.23	29.34	487.97	487.97
0+040.00	106.58	105.33	1.25	20.15	494.83	982.80
0+060.00	106.34	105.08	1.26	20.53	406.75	1,389.55
0+080.00	106.28	105.03	1.25	23.09	436.15	1,825.70
0+100.00	106.23	104.98	1.25	25.18	482.69	2,308.39
0+120.00	106.16	104.91	1.25	26.91	520.91	2,829.30
0+140.00	106.11	104.85	1.26	28.60	555.11	3,384.41
0+160.00	106.05	104.80	1.25	30.20	588.01	3,972.42
0+180.00	105.99	104.74	1.25	31.17	613.66	4,586.08
0+200.00	105.93	104.68	1.25	31.25	624.15	5,210.23
0+220.00	105.88	104.63	1.25	31.95	631.97	5,842.20
0+240.00	105.82	104.57	1.25	32.61	645.62	6,487.82
0+260.00	105.75	104.50	1.25	30.42	630.37	7,118.19
0+280.00	104.95	103.70	1.25	23.55	539.75	7,657.94
0+300.00	105.08	103.83	1.25	17.01	405.64	8,063.58
0+320.00	105.26	104.02	1.24	24.58	415.88	8,479.46
0+340.00	105.44	104.19	1.25	28.91	534.84	9,014.30
0+360.00	105.62	104.37	1.25	32.53	614.33	9,628.63
0+380.00	105.79	104.55	1.24	37.35	698.75	10,327.38
0+400.00	105.97	104.73	1.24	41.58	789.30	11,116.68
0+420.00	106.14	104.89	1.25	50.05	916.25	12,032.93
0+440.00	105.72	104.48	1.24	51.40	1,014.46	13,047.39
0+460.00	105.30	104.05	1.25	29.29	806.88	13,854.27
0+480.00	105.40	104.16	1.24	27.06	563.50	14,417.77
0+500.00	105.69	104.44	1.25	28.94	560.03	14,977.80
0+520.00	105.64	104.73	0.91	27.23	561.74	15,539.54
0+540.00	106.27	105.01	1.26	31.65	588.84	16,128.38
0+560.00	106.54	105.30	1.24	29.22	608.73	16,737.11
0+580.00	106.74	105.49	1.25	31.28	605.06	17,342.17

Continuación de la tabla IV.

Caminamiento	Cota de terreno	Cota de relleno	Diferencia de cotas	Área de relleno	Volumen parcial de relleno	Volumen acumulado de relleno
0+600.00	106.93	105.68	1.25	35.65	669.36	18,011.53
0+620.00	107.12	105.87	1.25	41.70	773.57	18,785.10
0+640.00	107.31	106.06	1.25	49.44	911.42	19,696.52
0+660.00	107.50	106.25	1.25	58.36	1,078.00	20,774.52
0+680.00	106.66	105.39	1.27	49.91	1,082.69	21,857.21
0+700.00	106.64	104.20	2.44	36.41	863.12	22,720.33
0+720.00	105.75	104.49	1.26	41.08	774.82	23,495.15
0+740.00	106.56	105.32	1.24	48.81	898.82	24,393.97
0+760.00	107.11	105.88	1.23	48.56	973.64	25,367.61
0+780.00	107.61	106.36	1.25	51.39	999.48	26,367.09
0+800.00	107.39	106.14	1.25	59.73	1,111.22	27,478.31
0+820.00	107.66	106.41	1.25	48.99	1,087.22	28,565.53
0+835.45	107.47	106.21	1.26	43.39	713.60	29,279.13

Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD Civil 3D 2019.

Puesto que la tabla IV fue elaborada a partir del levantamiento topográfico del tramo representativo, el volumen de metros cúbicos obtenido corresponde solamente a la longitud del sector medido.

$$\text{Total de volumen de relleno} = 29,279.13 \text{ m}^3$$

Ya que el resultado únicamente representa 835 metros de la longitud medida del montículo, es necesario proyectar dicho resultado y establecer el cálculo para la longitud total de la obra que es de 6,000 metros o 6 kilómetros.

Haciendo una relación de proporcionalidad con la longitud total estimada del Montículo de La Culebra de seis kilómetros se obtiene la siguiente relación.

$$\frac{\text{Volumen de Relleno}_{835 \text{ m}}}{\text{Volumen de Relleno}_{6000 \text{ m}}} = \frac{\text{Longitud representativa del montículo}}{\text{Longitud total del montículo}}$$

Donde:

$$\text{Volumen de relleno de 835 m} = 29,279.13 \text{ m}^3$$

$$\text{Longitud representativa del montículo} = 835 \text{ m}$$

$$\text{Longitud total del montículo} = 6,000 \text{ m}$$

De la relación de proporcionalidad, despejamos la variable del Volumen de Relleno para 6,000 metros:

$$\text{Volumen de Relleno}_{6000 \text{ m}} = \text{Volumen de Relleno}_{835 \text{ m}} * \left(\frac{\text{Longitud total aparente}}{\text{Longitud representativa}} \right)$$

Sustituyendo datos conocidos:

$$\text{Volumen de Relleno}_{6000 \text{ m}} = 29,279.13 \text{ m}^3 * \left(\frac{6,000 \text{ m}}{835 \text{ m}} \right) = 210,388.95 \text{ m}^3$$

Considerando un factor de contracción al 95 %, el volumen total aproximado resultante del banco para 6,000 metros del Montículo de La Culebra es:

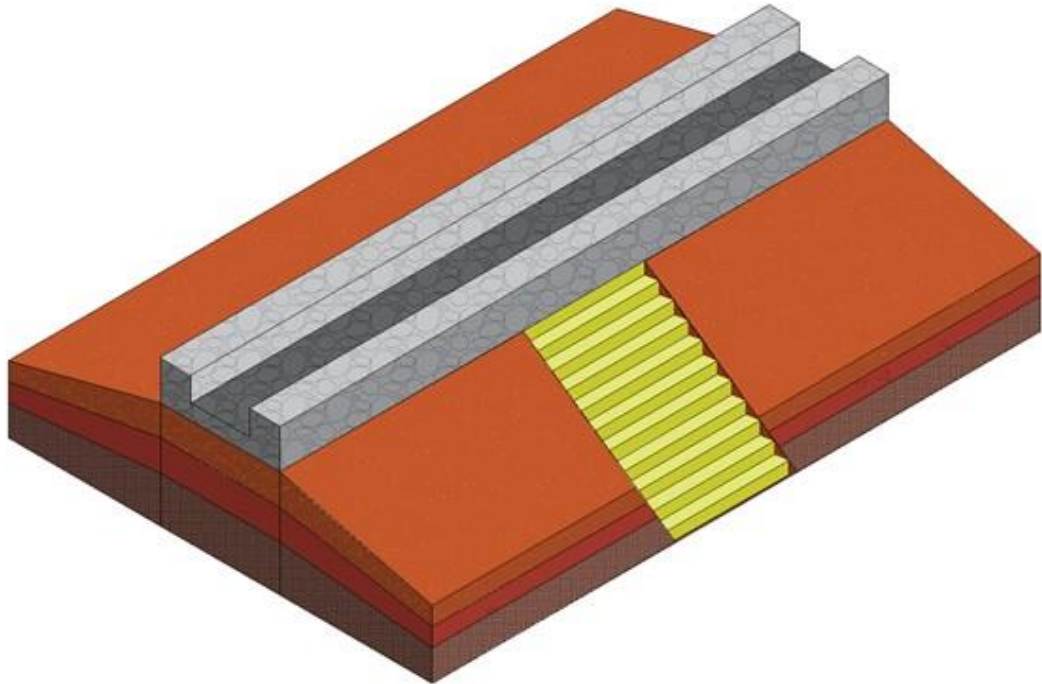
$$\text{Volumen Resultante en Banco} = (210,388.95 \text{ m}^3) * 0.95$$

$$\text{Volumen resultante en banco} = 199,869.50 \text{ m}^3$$

3.5. Reconstrucción de Modelo

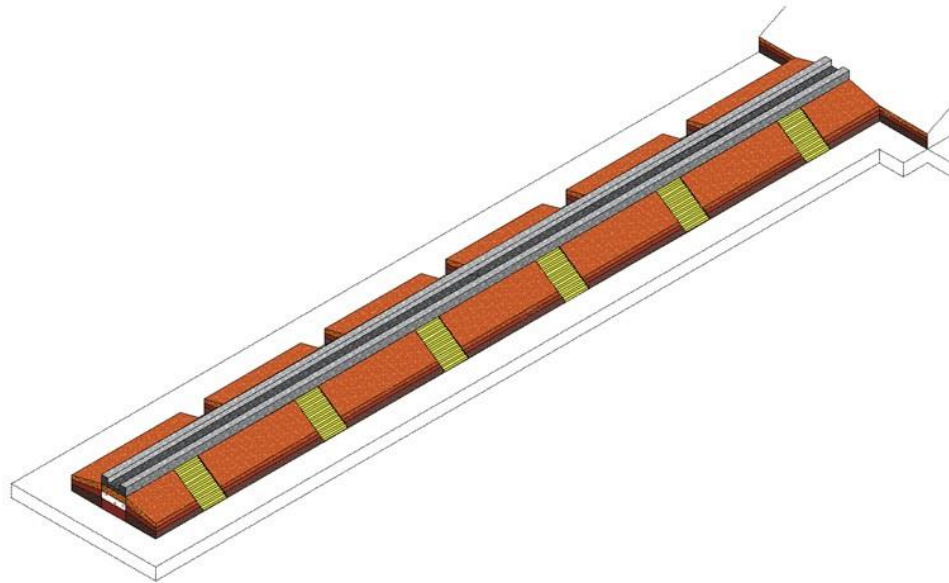
A partir del levantamiento topográfico, los documentos históricos, criterios y datos recabados para este trabajo, fue posible hacer una reconstrucción virtual en tres dimensiones del Montículo de La Culebra utilizando el *software* AutoCAD Civil3D. El modelo es una propuesta idealizada de uno de los perfiles estudiado en el proyecto Shadai.

Figura 24. **Modelo idealizado en 3D de proyección de 1 kilómetro de la obra del Montículo de La Culebra con escalinata**



Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.

Figura 25. **Modelo idealizado en 3D de 6 Km de la obra del Montículo de La Culebra con escalinata en ambos lados del canal.**



Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.

3.6. Determinación del volumen de material y costo estimado de la construcción del Montículo de La Culebra

La importancia de considerar el siguiente proceso que proporciona el volumen del material utilizado y el costo de una obra como el Montículo de La Culebra, surge con el propósito de evidenciar la magnitud de esta estructura, no solamente en su proceso constructivo, sino el valor económico que tendría este proceso hoy en día a partir de una proyección aproximada.

Los cálculos realizados se centraron en considerar los costos que integran el presupuesto para la construcción y el tiempo de ejecución aproximados.

3.6.1. Renglones de trabajo

Para la ejecución de los trabajos se consideraron los siguientes renglones de trabajo:

Tabla V. Renglones de trabajo

Descripción	Unidad
Limpia, chapeo y destronque	ha
Levantamiento topográfico en banco de préstamo	día
Levantamiento topográfico en el proyecto	día
Excavación de material de préstamo	m ³
Acarreo de material de préstamo, el cual incluye carga y transporte a 12.5 kilómetros de distancia	m ³ *Km
Reacondicionamiento de la rasante	m ²
Trabajos de relleno controlado en capas de 30 centímetros	m ³

Fuente: elaboración propia, con datos de Dirección General de Caminos (2001).
Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes.

3.6.2. Maquinaria

La maquinaria considerada para la ejecución de los trabajos es la siguiente:

- Tractor de oruga tipo bulldozer Caterpillar D7 o similar
- Cargador frontal tipo Cat. 920
- Motoniveladora tipo Cat 120 G articulada
- Rodo vibro compactador de 10 toneladas
- Cisterna de agua de 1,500 galones
- Camión de volteo de 12 m³ de doble

3.6.3. Integración de los costos

Se integró un costo directo por ejecución de cada renglón indicado, tomando en consideración los costos unitarios en cada fase de trabajo, así como la mano de obra directa, maquinaria, insumos y materiales indispensables. Además, se consideraron las horas de ejecución y el rendimiento de la maquinaria por día, el rendimiento del operador de la maquinaria y los ayudantes necesarios en el trabajo de campo.

Tabla VI. Integración de costos directos para ejecutar los trabajos

Renglón: Limpia, chapeo y destronque

Materiales, Equipo y Maquinaria	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tractor tipo Caterpillar D6	Hora	3.00	Q 56.25	Q 168.75
Cargador frontal tipo Cat 920	Hora	3.00	Q 46.88	Q 140.63
Camión de volteo para evacuar material	Hora	3.00	Q 150.00	Q 450.00
Subtotal				Q 759.38
Mano de Obra Calificada	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Operador de tractor D6	Hora	3.00	Q 15.63	Q 46.88
Operador de cargador frontal tipo Cat 920	Hora	3.00	Q 15.00	Q 45.00
Piloto de camión para acarreo libre	Hora	3.00	Q 10.00	Q 30.00
Prestaciones (50 %)				Q 60.94
Subtotal				Q 182.81
Costo directo				Q 942.19

Renglón: Levantamiento topográfico en banco de préstamo

Materiales, Equipo y Maquinaria	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Equipo de topografía	Día	1.00	Q500.00	Q500.00
Estacas	Unidad	50.00	Q1.00	Q50.00
Trompos	Unidad	50.00	Q1.25	Q62.50
Cal	bolsa	0.25	Q20.00	Q5.00
Pintura	botes	2.00	Q20.00	Q40.00
Subtotal				Q657.50

Continuación de la tabla VI.

Renglón: Levantamiento topográfico en banco de préstamo

Mano de Obra Calificada	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Operador de aparato	Día	1.00	Q200.00	Q200.00
Cadenero	Día	1.00	Q150.00	Q150.00
Peón	Jornal	1.00	Q100.00	Q100.00
Prestaciones (50 %)				Q225.00
Subtotal				Q675.00
Costo directo				Q1,332.50

Renglón: Excavación de material de préstamo

Materiales, Equipo y Maquinaria	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tractor tipo caterpillar D6	Hora	0.0133	Q56.25	Q0.75
Cargador frontal tipo Cat 920	Hora	0.0133	Q46.88	Q0.63
Camión para acarreo libre	Hora	0.1111	Q150.00	Q16.67
Subtotal				Q 18.04

Mano de Obra Calificada	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Operador de tractor D6	Hora	0.0133	Q15.63	Q0.21
Operador de cargador frontal tipo Cat 920	Hora	0.0133	Q15.00	Q0.20
Piloto de camión para acarreo libre	Hora	0.1111	Q10.00	Q1.11
Prestaciones (50 %)				Q 0.76
Subtotal				Q2.28
Costo directo				Q20.32

Renglón: Acarreo de material de préstamo (incluye carga y transporte a 12.5 Km de distancia)

Materiales, Equipo y Maquinaria	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cargador frontal tipo CAT 920	Hora	0.0133	Q46.88	Q0.63
Camión de volteo	Hora	0.1111	Q150.00	Q16.67
Subtotal				Q 17.29

Mano de Obra Calificada	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Operador de cargador frontal tipo Cat 920	Hora	0.0133	Q15.00	Q0.20
Piloto de camión de volteo	Hora	0.1111	Q10.00	Q1.11
Prestaciones (50 %)				Q 0.66
Subtotal				Q1.97
Costo directo				Q19.26

Continuación de la tabla VI.

Renglón: Reacondicionamiento de la rasante

Materiales, Equipo y Maquinaria	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Motoniveladora tipo Cat 120 G	Hora	0.0025	Q56.25	Q0.14
Rodo vibro-compactador de 7 ton.	Hora	0.0025	Q56.25	Q0.14
Camión cisterna de agua	Hora	0.0025	Q12.50	Q0.03
Subtotal				Q0.31

Mano de Obra Calificada	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Operador de motoniveladora tipo Cat 120G	Hora	0.0025	Q18.75	Q0.05
Operador rodo vibro-compactador de 7 ton.	Hora	0.0025	Q12.50	Q0.03
Piloto de cisterna de agua	Hora	0.0025	Q11.25	Q0.03
Prestaciones (50 %)				Q 0.05
Subtotal				Q0.16
Costo directo				Q19.26

Renglón: Trabajos de relleno controlado en capas de 0.30 m

Materiales, Equipo y Maquinaria	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Material de préstamo	m3	0.2000	Q120.00	Q24.00
Motoniveladora tipo Cat 120 g	Hora	0.0025	Q56.25	Q0.14
Rodo vibro-compactador de 7 ton.	Hora	0.0025	Q56.25	Q0.14
Camión cisterna de agua	Hora	0.0025	Q12.50	Q0.03
Subtotal				Q24.31

Mano de Obra Calificada	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Operador de motoniveladora tipo Cat 120G	Hora	0.0025	Q18.75	Q0.05
Operador rodo vibro-compactador de 7 ton.	Hora	0.0025	Q12.50	Q0.03
Piloto de cisterna de agua	Hora	0.0025	Q11.25	Q0.03
Prestaciones (50 %)				Q 0.05
Subtotal				Q0.16
Costo directo				Q24.47

Fuente: elaboración propia, con datos de Dirección General de Caminos (2001).

Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes.

En la tabla VII se presenta el resumen de los costos directos de cada renglón y las cantidades de trabajo estimadas requeridas para la ejecución de los trabajos en el tramo del montículo estudiado.

Tabla VII. **Cantidades de trabajo y costos unitarios estimados**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Limpia, chapeo y destronque	2.09	Q942.19	Q1,969.18
Levantamiento topográfico en banco de préstamo	40.00	Q1,332.50	Q53,300.00
Levantamiento topográfico en proyecto	40.00	Q1,332.50	Q53,300.00
Excavación de material de préstamo	27,835.00	Q20.32	Q565,607.20
Acarreo de material de préstamo (incluye carga y transporte a 12.5 Km de distancia)	347,937.50	Q19.26	Q6,701,276.25
Reacondicionamiento de la rasante	16,700.00	Q0.47	Q7,849.00
Trabajos de relleno controlado en capas de 0.30 m	93,760.00	Q24.47	Q2,294,307.20
TOTAL			Q9,677,608.83

Fuente: elaboración propia, con datos de Dirección General de Caminos (2001).

Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes.

A continuación, se determinaron los costos indirectos, que conforman la mano de obra calificada y administrativa, mano de obra no calificada, gastos legales de fianzas, impuestos y gastos que no inciden directamente en el trabajo, pero son indispensables para la ejecución del proyecto, considerando un tiempo estimado de ejecución de 12 meses.

Tabla VIII. **Integración de costos indirectos para ejecutar los trabajos**

Personal de campo	Cantidad	Salario mensual	Meses	Total
Ingeniero civil superintendente	1	Q 6,000.00	5	Q 30,000.00
Encargado general de campo	1	Q 2,500.00	5	Q 12,500.00
Topógrafo	1	Q 2,000.00	2	Q 4,000.00
Cadeneros	2	Q 900.00	2	Q 3,600.00
Laboratorista de suelos	1	Q 1,500.00	4	Q 6,000.00
Subtotal				Q 56,100.00
Prestaciones (40 %)				Q 22,440.00
Total				Q 78,540.00

Continuación de la tabla VIII.

Personal administrativo	Cantidad	Salario mensual	Meses	Total
Administrador general	1	Q 2,500.00	5	Q 12,500.00
Secretaria-contadora	1	Q 1,500.00	5	Q 7,500.00
Prestaciones (40 %)				Q 8,000.00
Total				Q 28,000.00

Equipo de campo y vehículos	Cantidad	Salario mensual	Meses	Total
Equipo de laboratorio de suelos	1	Q 1,500.00	3	Q 4,500.00
Vehículo de trabajo	1	Q 2,000.00	5	Q 10,000.00
Fletes	7	Q 4,500.00	10	Q 31,500.00
Total				Q 46,000.00

Mano de obra no calificada	Cantidad	Horas hombre	Jornales	Salario y prestaciones	Total
Tractor de oruga bulldozer	2	377.40	95.00	Q126.00	Q11,970.00
Cargador frontal	2	377.40	94.35	Q126.00	Q11,888.21
Motoniveladora	2	41.75	10.44	Q126.00	Q1,315.13
Rodo vibrocompactador	2	41.75	10.44	Q126.00	Q1,315.13
Cisterna de Agua	1	41.75	5.22	Q126.00	Q657.56
Camión de Volteo	1	3,099.05	387.38	Q126.00	Q48,810.00
Topografía	2	320.00	80.00	Q70.00	Q5,600.00
Total					Q81,556.02

Fuente: elaboración propia, con datos de Dirección General de Caminos (2001).

Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes.

Finalmente, para obtener el precio total del proyecto, a los costos directos, costos indirectos y costos de mano de obra no calificada se les debe agregar el porcentaje de utilidad, los gastos legales y fianzas, el impuesto sobre la renta (ISR) y el impuesto al valor agregado (IVA). Estos resultados se presentan en la tabla IX.

Tabla IX. **Integración final del precio del proyecto**

Descripción	Monto
Costos indirectos	Q152,540.00
Costos directos	Q9,677,608.83
Mano de obra no calificada	Q81,556.02
Utilidad (35 %)	Q3,469,096.70
Gastos legales y fianzas (5 %)	Q669,040.08
Impuesto sobre la renta (10 %)	Q967,760.88
Total parcial	Q15,017,602.51
I.V.A. (12 %)	Q115,822.57
Precio total	Q15,133,425.07

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

3.6.4. Parámetros utilizados en la integración del presupuesto

Las unidades y cantidades que se usaron, como área a compactar, hectáreas, volumen de relleno y de corte de material en cada renglón de trabajo, están basados en la longitud del tramo del montículo levantado topográficamente que corresponde a 835 metros.

Se consideró un ancho de veinte metros y sobreaño de cinco metros, valores que determinan el área compactada y volúmenes de material, así como los valores calculados en la sección del movimiento de tierras. Por esta razón se hace necesario considerar que el valor de Q15,133,425.07 corresponde sólo a la longitud de este tramo del montículo.

Por lo tanto, el valor total de los seis kilómetros de longitud estimada ascendería proporcionalmente a Q108,743,174.19, que correspondería al costo de una obra de la dimensión del Montículo de La Culebra.

Finalmente, se presenta el cronograma estimado de actividades para la construcción del Montículo de La Culebra, para ejecutar el proyecto desde los primeros renglones de trabajo hasta los de rellenos controlados. Esta es una guía de los procesos, no necesariamente podría cumplirse puntualmente.

Tabla X. **Cronograma de Inversión Física - Financiera.**

Renglón	Tiempo semanas	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
Limpia, chapeo y destronque	4.00	■						
Levantamiento topográfico en banco de préstamo	6.00	■	■					
Levantamiento topográfico en proyecto	6.00	■	■					
Excavación de material de préstamo	12.00		■	■	■			
Acarreo de material de préstamo (incluye carga y transporte a 12.5 Km de distancia)	12.00		■	■	■			
Reacondicionamiento de la rasante	12.00					■	■	■
Trabajos de relleno controlado en capas de 0.30 m	12.00					■	■	■

Mes	Inversión parcial	Inversión acumulada	Porcentaje parcial	Porcentaje acumulado
1	Q111,990.11	Q111,990.11	0.93 %	0.93 %
2	Q1,911,474.16	Q2,023,464.27	15.93 %	16.86 %
3	Q3,713,977.66	Q5,737,441.93	30.94 %	47.80 %
4	Q3,713,977.66	Q9,451,419.59	30.94 %	78.75 %
5	Q2,088,352.56	Q11,539,772.15	17.40 %	96.14 %
6	Q231,363.73	Q11,771,135.89	1.93 %	98.07 %
7	Q231,363.73	Q12,002,499.62	1.93 %	100.00 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

3.6.5. Determinación del caudal transportado por el Montículo de La Culebra

El Montículo de La Culebra es una estructura de rellenos controlados que sustenta el modelo de un canal que cumple con determinadas condiciones para transportar el caudal que se necesitó en aquella época. A continuación, se calcula este caudal a partir de las especificaciones técnicas que se recopilaron de este estudio.

La fórmula de Hazen-Williams es una de las ecuaciones más utilizadas para el diseño y análisis de redes hidráulicas. Su uso se limita al flujo de agua, tanto en tuberías de determinados diámetros y velocidades de 3 metros por segundo, como en canales, y debe aplicarse preferiblemente para escenarios donde el agua que fluye se encuentra a temperaturas de 5 °C a 25 °C, siendo 15.6 °C la temperatura media y óptima a la cual aplicarla.

La fórmula de Hazen-Williams en Sistema Internacional de unidades está dada por la siguiente expresión:

$$Q = A \cdot V$$

$$V = 0.849 \cdot C \cdot R_H^{0.63} \cdot S^{0.54}$$

$$\text{Por lo tanto: } Q = A \cdot (0.849 \cdot C \cdot R_H^{0.63} \cdot S^{0.54})$$

$$Q = A \cdot (0.849 \cdot C \cdot \left(\frac{A}{P_m}\right)^{0.63} \cdot \left(\frac{h_p}{L}\right)^{0.54})$$

Dónde:

Q: Caudal (metros cúbicos por segundo)

A: Área (metros cuadrados)

V: Velocidad media del flujo (metros por segundo)

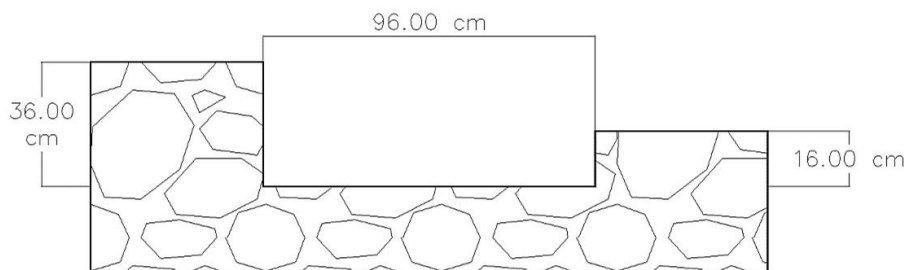
C: Coeficiente de Hazen-Williams

- R_H : Radio Hidráulico, dada por la relación del área transversal del canal (A) entre el perímetro mojado (P_m).
- S : Gradiente de energía, dada por la relación entre la pérdida de carga por fricción (h_f) sobre la longitud del canal (L).

En el capítulo dos se establece que la forma del canal es rectangular recubierto con lajas de piedra de 96 centímetros de ancho por 16 centímetros de alto, dimensiones que permiten calcular el área del canal (A), el área transversal de la sección (A) y el perímetro mojado (P_m). El valor del coeficiente de Hazen-Williams que se consideró es 120 que es el utilizado para concreto.

Para las dimensiones del canal, se hace referencia a los datos obtenidos en la investigación de Jacinto Cifuentes, de la cual se reconstruye la sección transversal del canal en la figura siguiente.

Figura 26. **Corte del Canal, Investigación de Jacinto Cifuentes.**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD Civil 3D 2019.

El perímetro mojado (P_m) representa la porción del perímetro de la sección transversal que está en contacto entre el fluido y el canal, éste es 1.28 metros.

El gradiente de energía (S), que relaciona la pérdida de carga por fricción (hp) que está dada por la diferencia de cotas sobre el nivel del mar del punto de inicio ubicado en área del sector del Cambray (1,622 msnm) y del punto final conocido del canal en el área del monumento a Tecún Umán (1,512.00 msnm), información de ambos puntos geodésicos obtenidos en el Instituto Geográfico Nacional y fichas adjuntas en anexos; la diferencia de 110 metros de pérdida por fricción dividido por la longitud del canal (L) de seis kilómetros.

Se sustituyen los siguientes valores en la fórmula para el cálculo del caudal:

Área transversal del canal (A): 0.1536 m²

Coefficiente de Hazen-Williams (C): 120

Radio Hidráulico (R_H): 0.120 metros

Perímetro mojado (Pm): 1.28 m

Pérdida por fricción (hp): 110 m

Longitud del canal (L): 6,000 metros

Para el cálculo final, se reemplazan los valores de las variables ya cuantificadas:

$$Q = (0.1536 \text{ m}^2) * (0.845 * 120 * (0.120 \text{ m})^{0.63} * \left(\frac{110 \text{ m}}{6,000 \text{ m}}\right)^{0.54})$$

$$Q = 0.472 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se determina entonces que el caudal transportado por el canal prehispánico fue aproximadamente de 0.472 m³/s (metros cúbicos por segundo) o 472 litros por segundo.

Para el cálculo del caudal de canales abiertos, también puede ser utilizado el método de Manning mediante la fórmula siguiente:

$$Q = A * \left(\frac{1}{n} * \left(\frac{A}{Pm} \right)^{2/3} * \left(\frac{hp}{L} \right)^{0.50} \right)$$

Considerando un coeficiente de Manning (n) de 0.011 para canales revestidos de cemento y los valores ya determinados con anterioridad, se obtiene un valor del caudal de 0.460 m³/s (metros cúbicos por segundo) o 460 litros por segundo.

Para ambos métodos, el valor del caudal transportado resultante es similar, por lo que se puede deducir que la utilización de cualquiera de los dos métodos puede ser considerada.

CONCLUSIONES

1. El método de construcción del montículo comprendió la secuencia de varias etapas con un alto grado de conocimientos de ingeniería, como el tallado del talpetate y preparación de la base del montículo; la construcción de estructuras con escalinatas; la construcción del canal en la cúspide y el sellado de la edificación con rellenos de material.
2. Los materiales que se utilizaron a lo largo de la construcción del montículo, ya sea individualmente o mezclados entre sí, fueron el talpetate, arena, barro y piedra pómez, además de lajas de basalto como revestimiento del canal. Estos materiales formaban parte de los procesos de construcción habituales encontrados en la arqueología del valle de Guatemala.
3. A partir del levantamiento topográfico de un tramo del Montículo de la Culebra, representativo de la totalidad de su longitud, se obtuvo el volumen total aproximado de 199,869.50 metros cúbicos de material usado en su construcción, se reconstruyó su superficie real y se generó el modelo digital idealizado de su estructura, usando como herramienta el *software* Autodesk AutoCAD Civil 3D.
4. El costo estimado de la construcción del Montículo de la Culebra se pudo calcular a partir de la información recopilada en campo y de especificaciones técnicas obtenidas del análisis de la secuencia constructiva del montículo y del canal, obteniéndose un valor total aproximado de Q108,743,174.19. Además, el caudal estimado

aproximado que transportaba el canal era de 0.472 metros cúbicos por segundo.

RECOMENDACIONES

1. Continuar la investigación del Montículo de La Culebra como una obra de ingeniería y profundizar en su funcionamiento y especificaciones técnicas como una obra hidráulica.
2. Someter a procesos de laboratorio las muestras de suelos obtenidas en excavaciones de investigación en obras prehispánicas, pues este proceso permite caracterizarlas mediante propiedades cuantificables y eficaces para obtener comparaciones y correlaciones estratigráficas.
3. Buscar apoyo mediante programas de conservación y cuidado del montículo, en instituciones como la Municipalidad de Guatemala o el Instituto Guatemalteco de Turismo, pues gran parte de los investigadores hacen referencia a la poca colaboración de las autoridades encargadas para profundizar en la investigación, que únicamente se ha realizado como proyectos de rescate.
4. Realizar un inventario de inmuebles que afectan el área del Montículo de La Culebra, como parte de un proyecto catastral, que sirva para mejorar el control y fortalecer la protección y preservación de esta obra hidráulica monumental.

REFERENCIAS

1. Arredondo, E. (2015). *Proyecto Arqueológico de Rescate La Culebra / Acueducto 20 Calle 3-30 Zona 10, Guatemala*. Guatemala, Guatemala. Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
2. Arroyo, B y Rojas, A. (2014). *Montículo de la Culebra. Informe Final Zona Arqueológica Kaminaljuyú Temporada 2014*. Guatemala, Guatemala. Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
3. Bebrich, C. y Wynn J. (1973). *Mound B-V-8 Late formative Ceremonial Structure. The Pennsylvania State University Kaminaljuyu Project 1969-1970 seasons Part 1 Mound Excavations*. Pensilvania, Estados Unidos. State University of Pennsylvania.
4. Dirección General de Caminos. (2001). *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes*. Guatemala: Autor.
5. Ericastilla, S. y Shibata, S. (1991). *Historia de las Investigaciones Arqueológicas en Kaminaljuyú y el Montículo de la Culebra. Primer informe de exploraciones arqueológicas, Proyecto de investigación multidisciplinaria del centro y sur de Guatemala, Volumen 1*. Tokio, Japón. Museo de Tabaco y Sal.

6. Gómez, H. (1995). *Exploración de sistemas hidráulicos en Izapa. En VIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1994.* Guatemala, Guatemala. Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
7. Instituto de Antropología e Historia. (2002). *Informe Técnico Preliminar Programa de Evaluación, Inventario y Diagnóstico de Kaminaljuyú y el Montículo de la Culebra.* Guatemala: Autor.
8. Instituto Geográfico Nacional de Guatemala. (2001). *Monografía de cota fija Ciudad-2A.* Guatemala: Autor.
9. Instituto Geográfico Nacional de Guatemala. (2008). *Monografía de cota fija Ciudad-23.* Guatemala: Autor.
10. Instituto Geográfico Nacional de Guatemala. (2021). *Monografía de cota fija Ciudad-3.* Guatemala: Autor.
11. Ito, N. (2001). *La Culebra, Kaminaljuyú.* Tokio, Japón: Museo de Tabaco y Sal.
12. Marroquín, E. (2007). *El sistema hidráulico de Tak'alik Ab'aj, evidencia de canales de desagüe y abastecimiento* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
13. Martínez, G. y Cabrera, T. (1999). El Montículo de la Culebra: Monumento fachada de la arqueología del valle de Guatemala. *XII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1,998* Simposio llevado a cabo en Guatemala, Guatemala.

14. Miguel, L. y Escobar, L. (2014). *Proyecto de Rescate Arqueológico Cohen*. Guatemala, Guatemala. Universidad del Valle de Guatemala.
15. Ministerio de Cultura y Deportes. (2013). *Plan de Gestión 2009-2013, Zona Arqueológica Kaminaljuyú, municipios de Guatemala y Mixco*. Guatemala: Autor.
16. Museo Tabaco y Sal. (2014). *Informe de Excavaciones Arqueológicas. Proyecto de Investigación Interdisciplinaria del Centro y Sur de Guatemala*. Tokio, Japón.
17. Navarrete, C. y Luján, L. (1986). *El Gran Montículo de la Culebra en el Valle de Guatemala*. México: Universidad Autónoma de México.
18. Ortega, E. (2001). *Proyecto de Rescate Arqueológico Shadai, Montículo de la Culebra - Kaminaljuyú*. Guatemala, Guatemala. Instituto de Antropología e Historia.
19. Rojas, A. (2016). *Proyecto de Rescate Montículo de la Culebra Ofibodegas Kummerfeldt*. Guatemala, Guatemala. Instituto de Antropología e Historia de Guatemala.
20. Sandoval, J. (mayo, 2009). Una ciudad debajo de otra. *Prensa Libre*. [Suplemento Revista D], pp. 21-23.
21. Valle, J. (2006). *Rescate arqueológico en el Montículo de la Culebra y el Acueducto de Pinula: dos montículos en agonía*. Guatemala, Guatemala. Museo Nacional de Arqueología y Etnología.

APÉNDICES


Apéndice 1. Plano de levantamiento topográfico sobre ortofoto

Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.



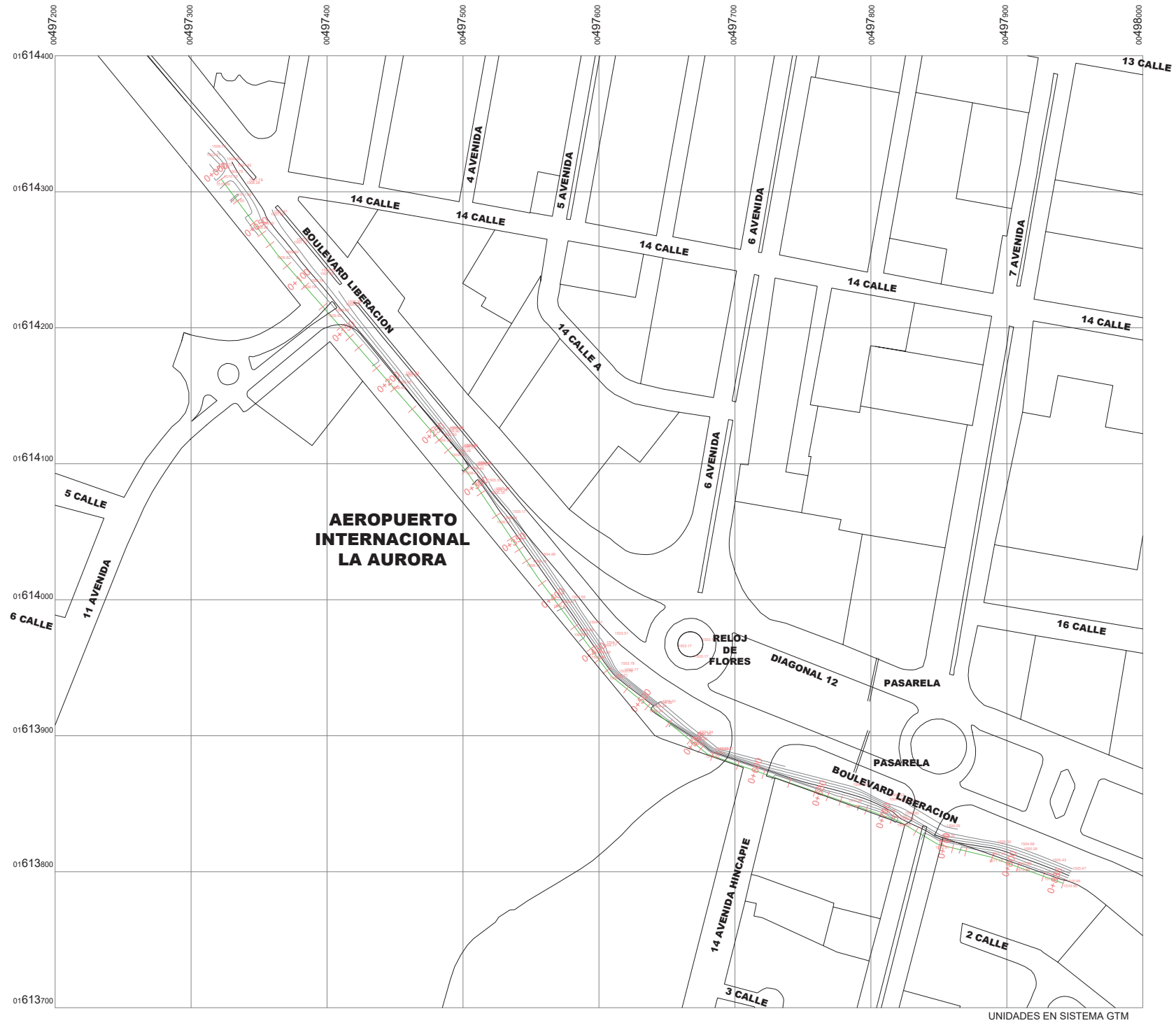
UNIDADES EN SISTEMA GTM

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SOBRE ORTOFOTO
 ESCALA 1:2500

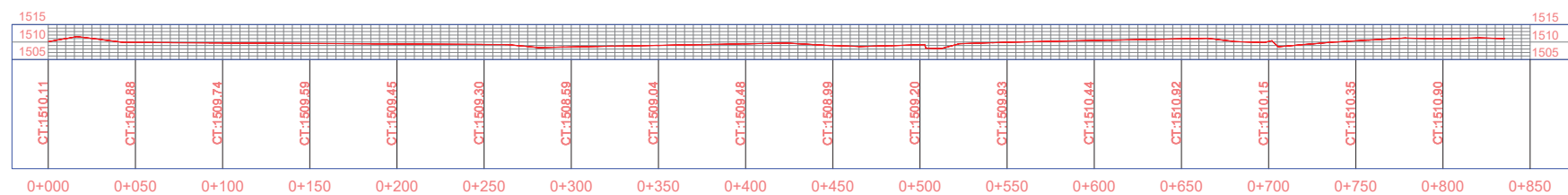
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA			
CENTRO DE INVESTIGACIÓN SECCIÓN DE TOPOGRAFÍA Y CATASTRO			
UBICACIÓN : BOULEVARD LIBERACIÓN ZONA 9, DESDE TECÚN UMÁN AL OBELISCO			
MUNICIPIO: GUATEMALA DEPARTAMENTO: GUATEMALA		CONTENIDO: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO SOBRE ORTOFOTO	
DISEÑO:	FECHA: JULIO DEL 2,019	ESCALA: INDICADA	
CÁLCULO:		DIBUJO: SETODWG	
FIRMA _____		FIRMA _____	
			No. HOJA 01/04

Apéndice 2. **Plano de levantamiento topográfico sobre ortofoto**

Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.



PLANTA TOPOGRÁFICA
ESCALA 1:2500



PERFIL DE EJE TOPOGRÁFICO
ESCALA HORIZONTAL 1:2500
ESCALVA VERTICAL 1:1,250



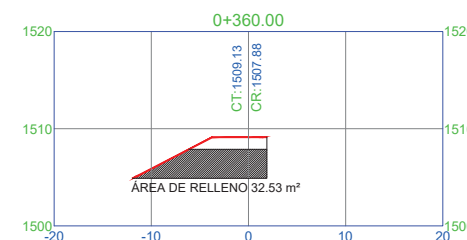
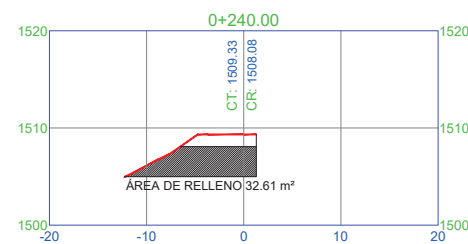
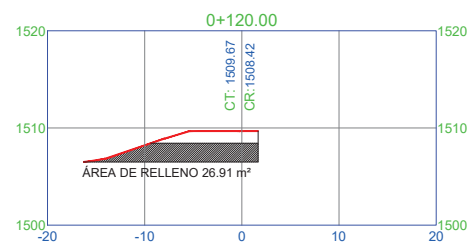
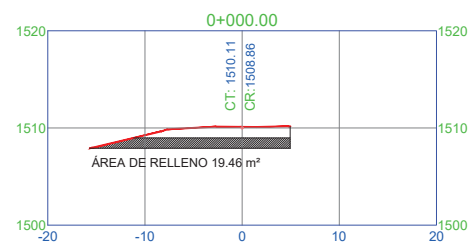
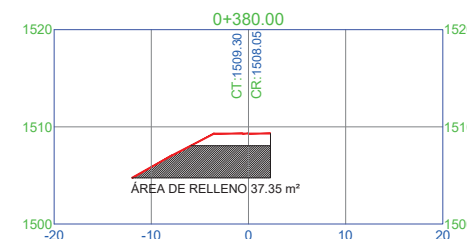
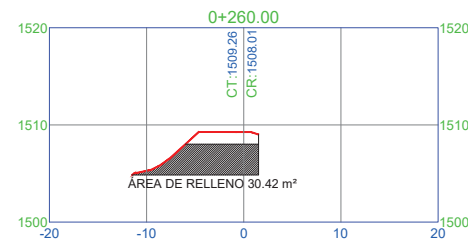
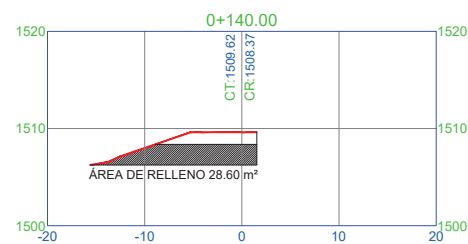
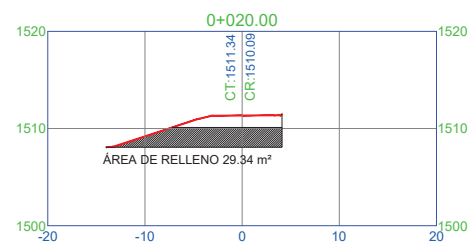
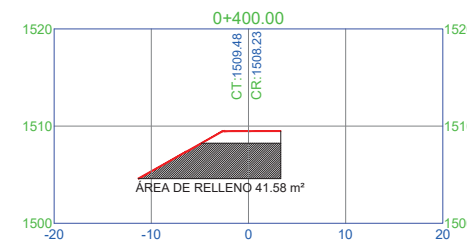
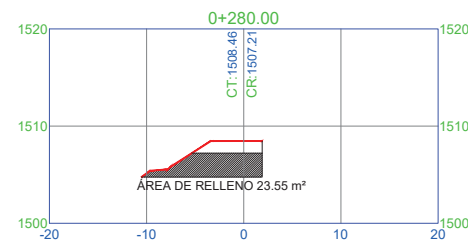
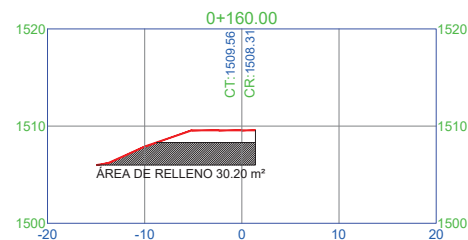
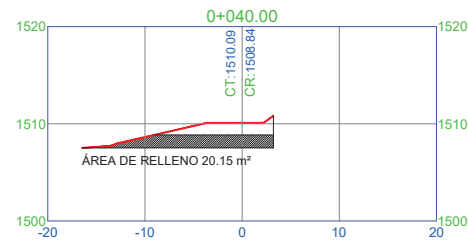
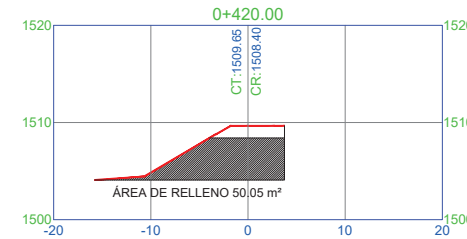
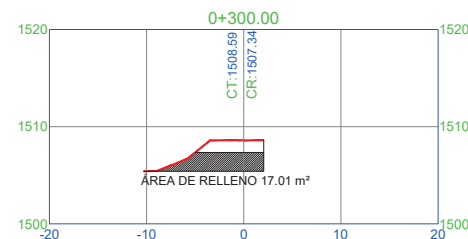
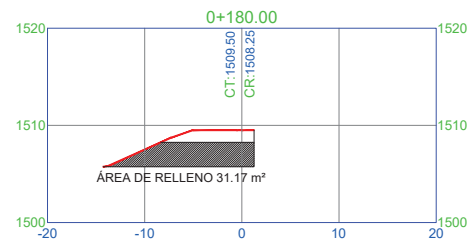
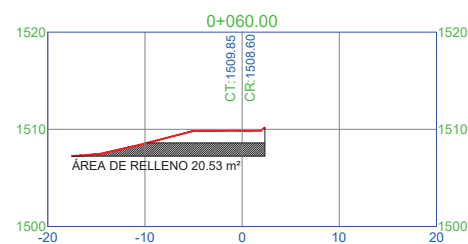
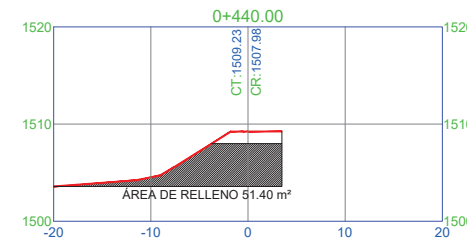
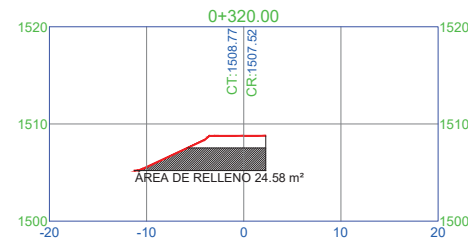
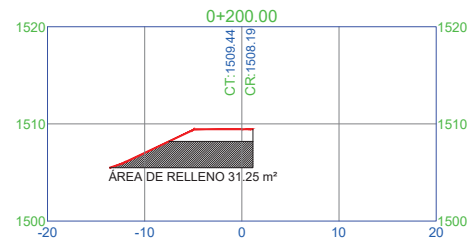
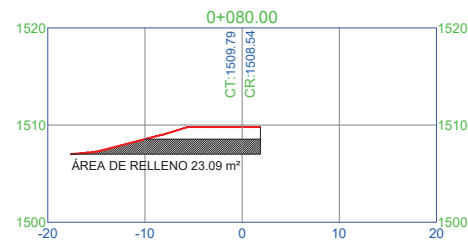
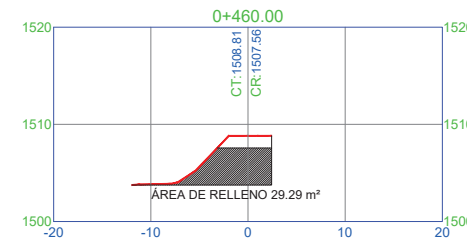
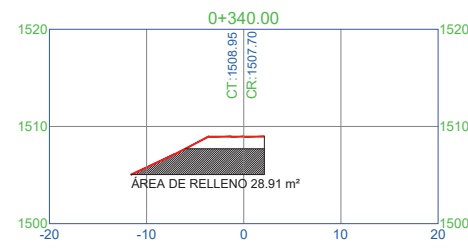
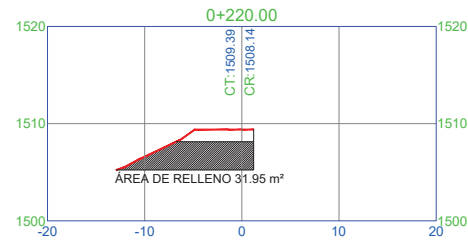
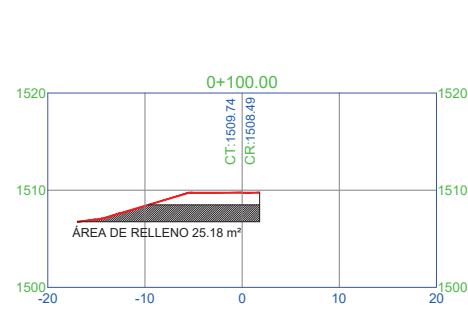
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN
SECCIÓN DE TOPOGRAFÍA Y CATASTRO

UBICACIÓN : BOULEVARD LIBERACIÓN ZONA 9, DESDE TECÚN UMÁN AL OBELISCO		
MUNICIPIO: GUATEMALA	CONTENIDO: PLANTA TOPOGRÁFICA PERFIL DE EJE TOPOGRÁFICO	
DEPARTAMENTO: GUATEMALA	FECHA: JULIO DEL 2,019	ESCALA: INDICADA
DISEÑO:		
CÁLCULO:		
DIBUJO: SETODWG		
FIRMA _____		FIRMA _____
		No. HOJA 02 / 04

Apéndice 3. **Plano de secciones transversales de eje topográfico 1**

Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.



SECCIONES TRANSVERSALES DE EJE TOPOGRÁFICO
ESCALA HORIZONTAL 1:2500
ESCALA VERTICAL 1:1,250



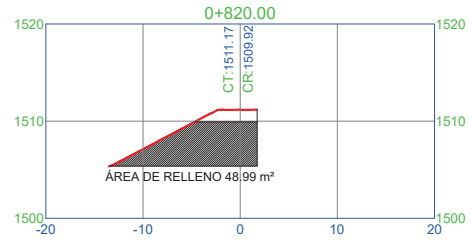
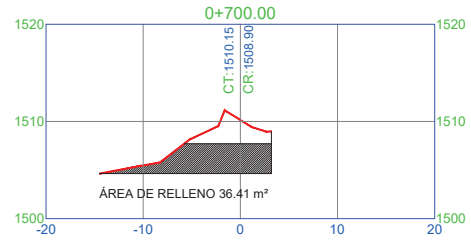
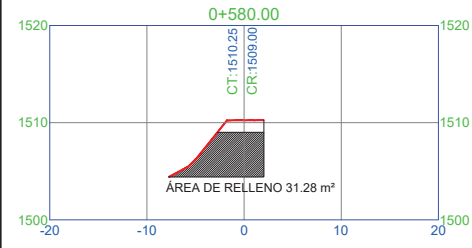
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN
SECCIÓN DE TOPOGRAFÍA Y CATASTRO

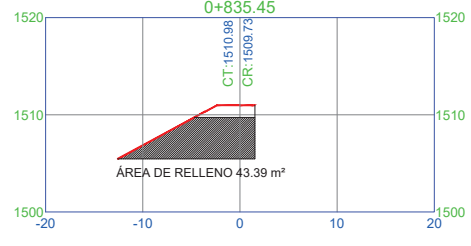
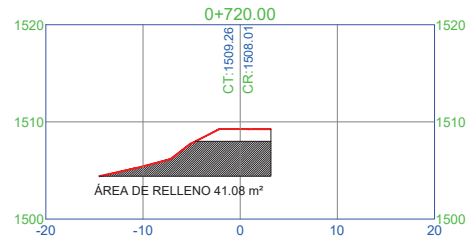
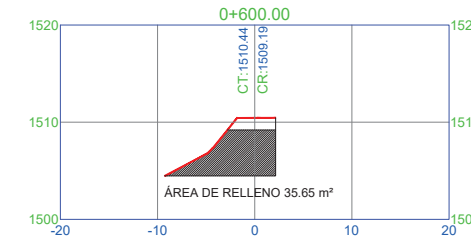
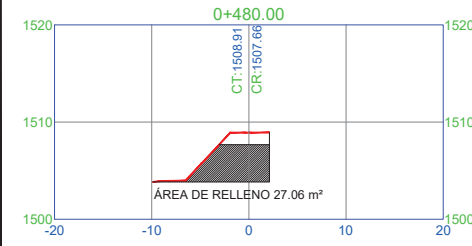
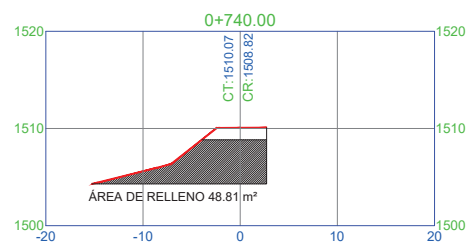
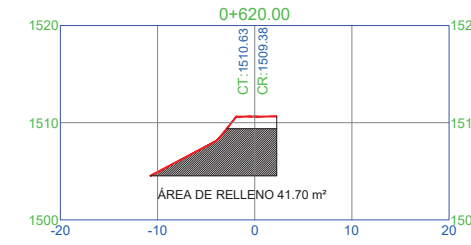
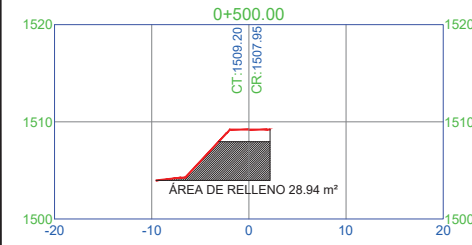
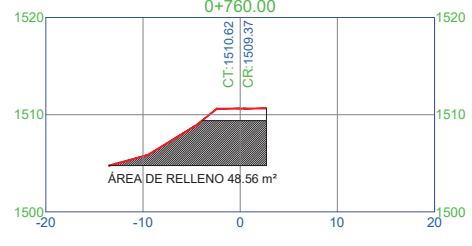
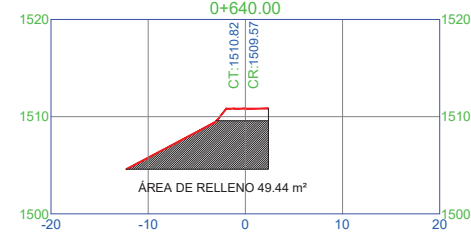
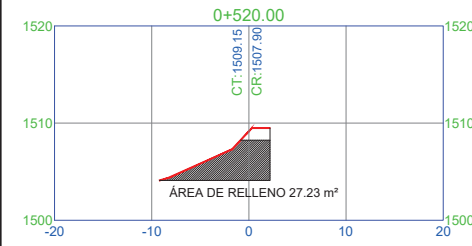
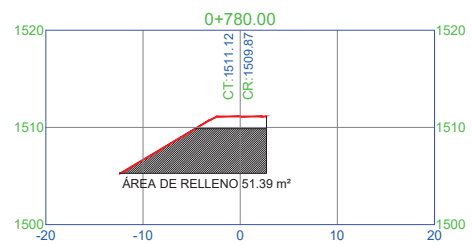
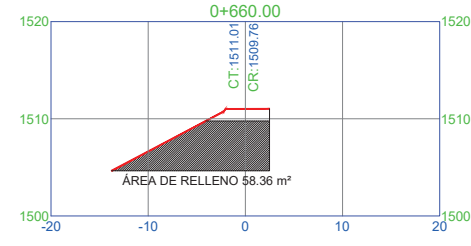
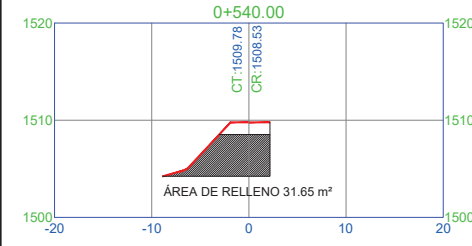
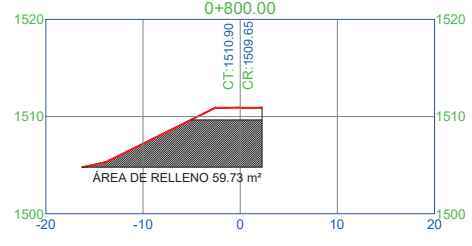
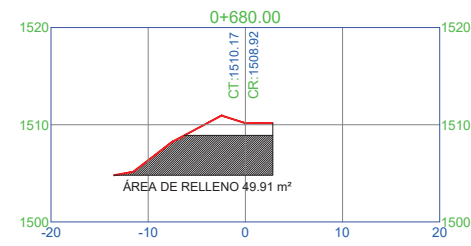
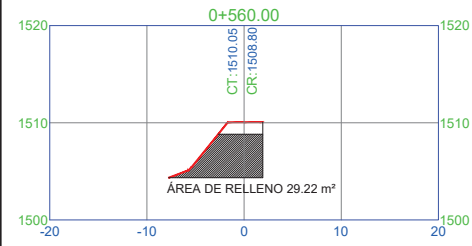
UBICACIÓN : BOULEVARD LIBERACIÓN ZONA 9, DESDE TECÚN UMÁN AL OBELISCO			
MUNICIPIO: GUATEMALA	CONTENIDO: SECCIONES TRANSVERSALES DE EJE TOPOGRÁFICO		
DEPARTAMENTO: GUATEMALA	FECHA: JULIO DEL 2,019	ESCALA: INDICADA	
DISEÑO:	DIBUJO: SETODWG		
FIRMA		FIRMA	

Apéndice 4. **Plano de secciones transversales de eje topográfico 2**

Fuente: elaboración propia, realizado con Autodesk Civil 3D 2019.



ÁREA DE RELLENO 41.08 m²



SECCIONES TRANSVERSALES DE EJE TOPOGRÁFICO

ESCALA HORIZONTAL 1:2500
ESCALA VERTICAL 1:1,250



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN
SECCIÓN DE TOPOGRAFÍA Y CATASTRO

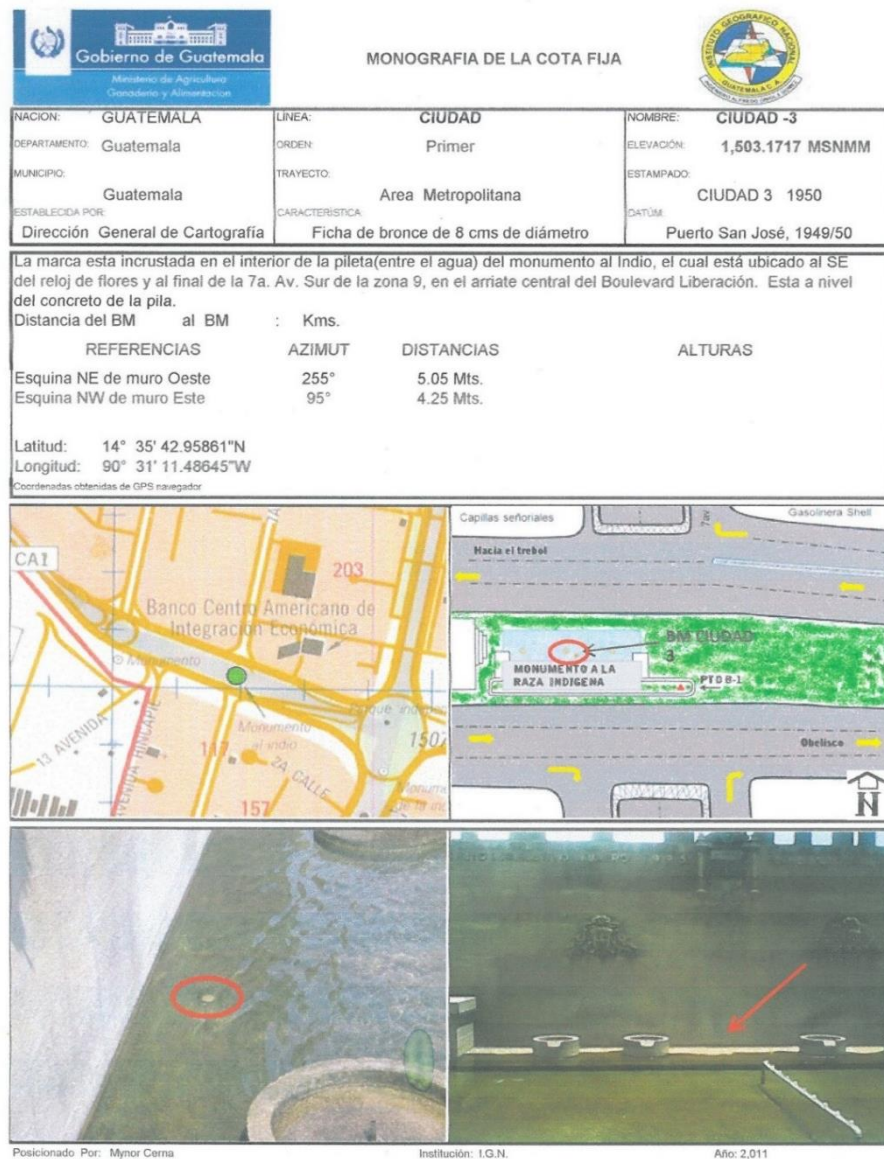
UBICACIÓN :
BOULEVARD LIBERACIÓN ZONA 9, DESDE TECÚN UMÁN AL OBELISCO

MUNICIPIO: GUATEMALA	CONTENIDO:
DEPARTAMENTO: GUATEMALA	SECCIONES TRANSVERSALES DE EJE TOPOGRÁFICO
DISEÑO:	FECHA: JULIO DEL 2,019
CÁLCULO:	ESCALA:
DIBUJO: SETODWG	
FIRMA	FIRMA

No. HOJA
04/04

ANEXOS

Anexo 1. Monografía de cota fija Reloj de Flores



Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Guatemala. (2001). *Monografía de cota fija Ciudad-3.*

Anexo 2. Descripción de cota fija monumento a Tecún Umán



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA Y
ALIMENTACIÓN

DESCRIPCION DE LA COTA FIJA



NACION:	GUATEMALA	LÍNEA:	"CIUDAD"	NOMBRE:	CIUDAD - 2A
DEPARTAMENTO:	Guatemala	ORDEN:	Primer	ELEVACIÓN:	1,511.8881 MSNMM.
MUNICIPIO:	Guatemala	TRAYECTO:	Área Metropolitana	ESTAMPADO:	BM CIUDAD - 2A IGM 1994
ESTABLECIDA POR:	Instituto Geográfico Militar	CARACTERÍSTICA:	Ficha de bronce, 6 cms de	DATUM:	Puerto San José 1949/1950

ADVERTENCIA LEGAL
QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCION
TOTAL Y/O PARCIAL POR CUALQUIER
MEDIO.
EL INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL
SE RESERVA LOS DERECHOS

La marca se encuentra localizada en el Monumento a Tecún Umán, (Paso a Desnivel) en la parte superior del muro de una jardinera situada frente al mencionado monumento.

Distancia del BM Ciudad - 2A al BM KKK - 1 : 1.0 Kms.

REFERENCIAS	AZIMUT	DISTANCIA	ALTURAS
De la orilla del muro N.	175°	5.20 m.	
De la orilla del muro SE.	320°	16.00 m.	
De la esquina N del monumento	010°	6.90 m.	

Latitud: 14° 36' 09.3" N
Longitud: 90° 31' 40.6" W
Coordenadas obtenidas de GPS navegador

MAPA



CROQUIS



FOTO 1



FOTO 2



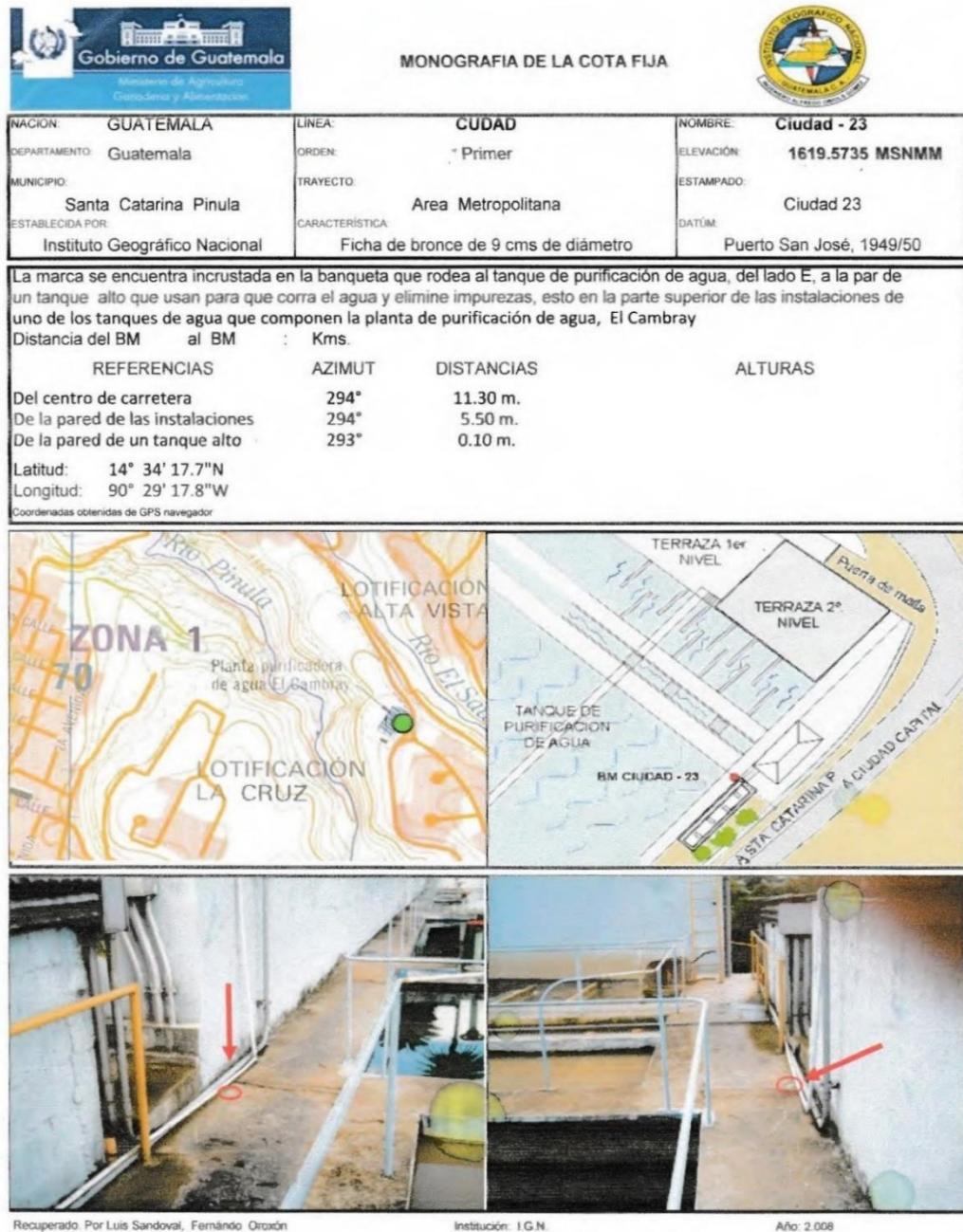
Recuperado por: Obdulio Cruz y Mynor Celada

Institución: IGN

Año: 2021

Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Guatemala. (2021). *Monografía de cota fija Ciudad-2A.*

Anexo 3. Monografía de cota fija planta de tratamiento El Cambray



Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Guatemala. (2008). *Monografía de cota fija Ciudad-23.*

Anexo 4. Informe de análisis de muestras de suelo

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO MONTÍCULO DE LA CULEBRA

1. Información General.

Lugar y Fecha: Guatemala, 4 de enero de 2,021.

Interesado: Iris Bobadilla.

Proyecto: Análisis del método constructivo del Montículo de la Culebra.

Asunto: Caracterización geotécnica del suelo de cimentación del montículo.

2. Introducción.

En este informe se reportan los resultados de los análisis realizados a las muestras del suelo de cimentación del Montículo de la Culebra. Las muestras están identificadas como MCC 2-6 y MCC 2-6 (52).

Las muestras se identificaron visualmente, luego fueron sometidas a procedimientos de laboratorio para determinar propiedades físicas de granulometría y límites de consistencia. Adicionalmente, luego de lavar los finos, las partículas de malla 40, 100 y se observaron e identificaron al microscopio.

3. Metodología.

Para la caracterización de las muestras de suelo de cimentación, se utilizan los siguientes procedimientos:

1. Descripción visual de muestras de suelos.
2. Ensayos de suelos, determinación de tamaños [Granulometría (ASTM D-422)] y límites [Plasticidad (ASTM D-4318)].
3. Clasificación de los suelos mediante el Sistema Unificado para Clasificación de Suelos con propósitos de ingeniería (USCS), procedimiento es normalizado (ASTM D-2487).
4. Observar e identificar al Microscopio de las partículas de suelo retenidas en las mallas 40, 100 y 200, y con un aumento de 200 X.

Continuación del anexo 4.

4. Caracterización de Muestras.

4.1. Descripción Visual.

A. Muestra MCC 2-6 (Material Orgánico) SN.

- Aspecto: Grumoso / Aglomerado. Profusa matriz limosa de baja plasticidad en la que se encuentran embebidas partículas
- Color: Café oscuro.

B. Muestra MCC 2-6 52N.

- Aspecto: Grumoso / Aglomerado. Profusa matriz limo arcillosa de baja plasticidad en la que se encuentran embebidas partículas
- Color: Café oscuro.

4.2. Granulometría y límites.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de granulometría y límites de las muestras del Montículo de La Culebra.

A. Muestra MCC 2-6 (Material Orgánico) SN.

- LL= 48.14 %.
- LP= 27.65 %
- IP= 20.51 %
- Finos= 76.75 %.
- Nombre: Suelo limoso (ML).



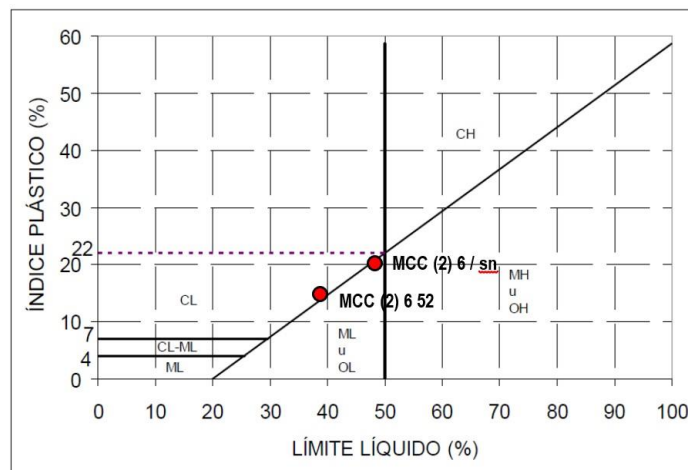
Continuación del anexo 4.

B. Muestra MCC 2-6 52.

- LL= 39.26 %.
- LP= 23.33 %
- IP= 15.91 %
- Finos= 64.75 %.
- Nombre: Suelo limo arcilloso (CL).



La siguiente gráfica es la utilizada para clasificación de suelos con propósitos de ingeniería para suelos finos. En este cuadro se utilizan los datos de la plasticidad de los suelos. Los resultados indican que los suelos se encuentran muy cercanos al límite entre suelos limosos o arcillosos; este resultado también manifiesta que ambas muestras tienen un origen similar, ya sea por condiciones naturales o en este caso por mezclas realizadas por los constructores.



Continuación del anexo 4.

4.3. Composición Mineralógica.

En este trabajo se hizo la identificación de la composición mineralógica de las partículas de arena las cuales son las que quedan retenidas en la malla 200; las partículas menores a malla 200. es similar para ambas muestras, siendo los principales componentes los siguientes.

— Plagioclasa	50
— Cuarzo	25
— Aglomerados	20
— Magnetita	3
— Otros	2

Estos minerales representan entre un 25 – 30 % del peso de muestra, el resto está formado por partículas finas (menores a malla 200), de composición de limos y arcillas; estas partículas es muy difícil caracterizar en un microscopio normal.

5. Conclusiones.


5.1. Los ensayos para caracterización se utilizan para establecer parámetros cuantificables que son útiles para hacer comparaciones comportamiento y asociaciones para establecer similitudes del origen de las muestras con fines de correlación. Con estos datos se pueden establecer similitudes entre suelos procedentes de diferentes sitios.

Continuación del anexo 4.

5.2. Las muestras ensayadas presentan propiedades granulométricas, de plasticidad y de contenido de minerales similares, lo que permite inferir una procedencia del mismo sitio u origen.

5.3. La caracterización de los suelos mediante las técnicas de ingeniería civil son una herramienta útil para la arqueología, ya que permite la caracterización mediante propiedades medibles que elimina la subjetividad de las descripciones y además estas propiedades son características eficaces para correlaciones estratigráficas.

Por Cp Ingeniería de Materiales.

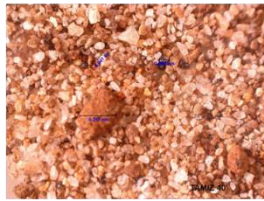
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Leonel Pérez Arias', enclosed within a large, loopy circular flourish.

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

Continuación del anexo 4.

FOTOGRAFÍAS DE LAS MUESTRAS AL MICROSCÓPIO

MUESTRA MCC (2) S-N



TAMIZ 40

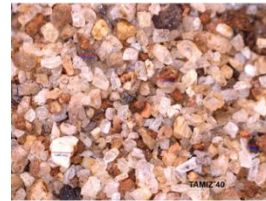


TAMIZ 100

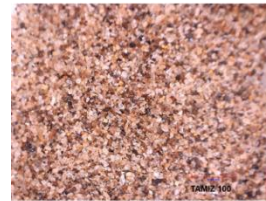


TAMIZ 40

MUESTRA MCC (2) 52



TAMIZ 40



TAMIZ 100



TAMIZ 40

Continuación del anexo 4.



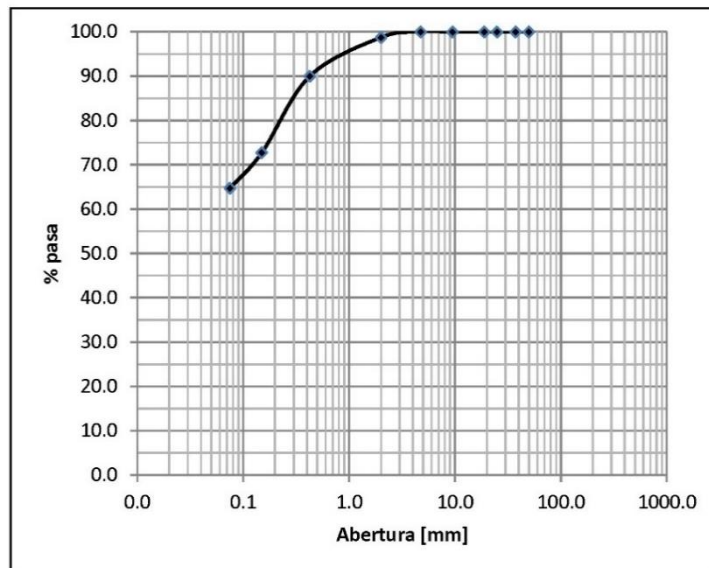
Ensayos de Laboratorio

Granulometría

ASTM D - 422

Información General		Informe No.	21-20
Lugar y Fecha:	Guatemala 10 de Febrero 2021		
Interesado:	Ing. Iris Bobadilla		
Proyecto:	Tesis		
Información de Material:	Suelo Arcilloso de aspecto opaco (CL), color café oscuro.		
Ubicación:	-		
Información de Muestra:	Proporcionada por el Interesado. MCC 2-6 Material orgánico		

Malla	% Pasa
2	100.00
1 1/2	100.00
1	100.00
3/4	100.00
3/8	100.00
4	100.00
10	98.75
40	90.00
100	72.75
200	64.75
250	0.00



Grava	0.00
Arena	35.25
Finos	64.75

Cu	6.0
Cc	1.0
D ₅₀	0.049

Datos Adicionales	
LL	39.30 %
LP	23.33 %
IP	15.97 %

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias
Jefe de Laboratorio



Continuación del anexo 4.



Anexo
Ensayos de Laboratorio

Límites de Atterberg
ASTM D - 4318

Información General		Informe No.	24-20
Lugar y Fecha:	Guatemala 10 de Febrero 2021		
Interesado:	Ing. Iris Bobadilla		
Proyecto:	Tesis		
Información de Material:	Suelo Limoso con Arena (ML), color café oscuro.		
Ubicación:	-		
Información de Muestra:	Proporcionada por el Interesado. MCC 2-6 Nivel 6, Material orgánico		



Límite Líquido:	48.30	%
Límite Plástico:	27.63	%
Índice de plasticidad:	20.67	%

Clasificación de finos: (ML)

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias
Jefe de Laboratorio

Continuación del anexo 4.



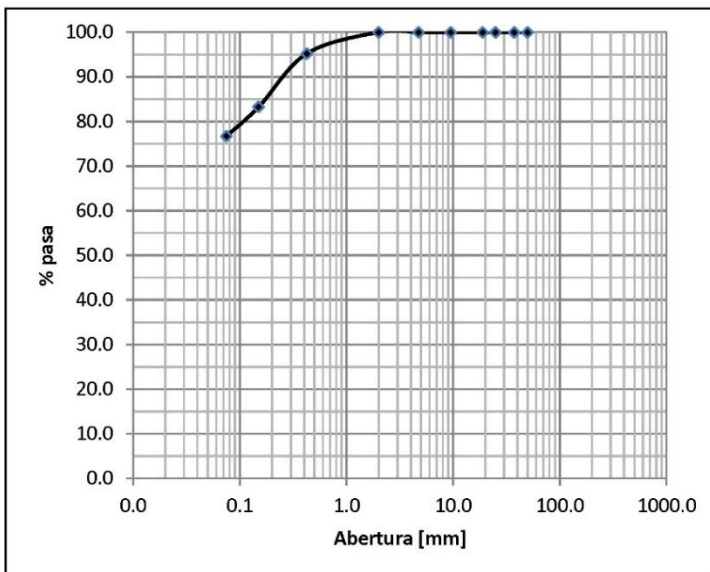
Ensayos de Laboratorio

Granulometría

ASTM D - 422

Información General		Informe No.	23-20
Lugar y Fecha:	Guatemala 10 de Febrero 2021		
Interesado:	Ing. Iris Bobadilla		
Proyecto:	Tesis		
Información de Material:	Suelo Limoso con Arena (ML)s, color café oscuro.		
Ubicación:	-		
Información de Muestra:	Proporcionada por el Interesado. MCC 2-6 Nivel 6, Material orgánico		

Malla	% Pasa
2	100.00
1 1/2	100.00
1	100.00
3/4	100.00
3/8	100.00
4	100.00
10	100.00
40	95.25
100	83.25
200	76.75
250	0.00



Grava	0.00
Arena	23.25
Finos	76.75

Cu	4.2
Cc	1.0
D ₅₀	0.031

Datos Adicionales	
LL	48.30 %
LP	27.63 %
IP	20.67 %

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias
Jefe de Laboratorio



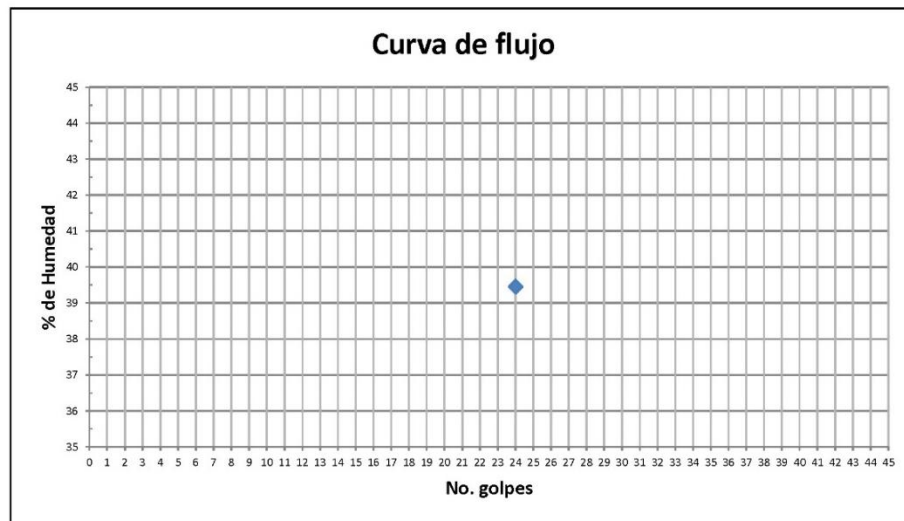
Continuación del anexo 4.



Anexo
Ensayos de Laboratorio

Limites de Atterberg
ASTM D - 4318

Información General		Informe No.	22-20
Lugar y Fecha:	Guatemala 10 de Febrero 2021		
Interesado:	Ing. Iris Bobadilla		
Proyecto:	Tesis		
Información de Material:	Suelo Arcilloso de aspecto opaco (CL), color café oscuro.		
Ubicación:	-		
Información de Muestra:	Proporcionada por el Interesado. MCC 2-6 Material orgánico		



Limite Líquido:	39.30	%
Limite Plástico:	23.33	%
Índice de plasticidad:	15.97	%

Clasificación de finos: (CL)

INGEOTECNIA Sociedad Anónima

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias
Jefe de Laboratorio

Fuente: Ingeotecnica, (2021). *Caracterización geotécnica del suelo de cimentación del montículo.*

