



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

TEMA:

**Análisis de la metodología constructiva y de costos para la
protección de una excavación profunda mediante conformación de
talud y tablestacado en una Planta de Tratamiento de Aguas
Residuales en la ciudad de Durán**

AUTORA:

Sánchez Fajardo, Judith del Carmen

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN**

TUTOR:

Cali Proaño, Ángela Francisca

Guayaquil, Ecuador

16 de septiembre del 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Sánchez Fajardo, Judith del Carmen**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera en Administración de Proyectos de Construcción**.

TUTOR (A):

f. _____

Cali Proaño, Ángela Francisca

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Compte Guerrero, Florencio Antonio

Guayaquil a los 16 del mes de septiembre del año 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Sánchez Fajardo, Judith del Carmen

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, **Análisis de la metodología constructiva y de costos para la protección de una excavación profunda mediante conformación de talud y tablestacado en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Durán**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Administración de Proyectos de Construcción**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 del mes de septiembre del año 2019

LA AUTORA:

f. _____

Sánchez Fajardo, Judith del Carmen



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, Sánchez Fajardo, Judith del Carmen

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis de la metodología constructiva y de costos para la protección de una excavación profunda mediante conformación de talud y tablestacado en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Durán**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 del mes de septiembre del año 2019

LA AUTORA:

f. _____

Sánchez Fajardo, Judith del Carmen

VOLVER A LA VISTA GENERAL DEL ANÁLISIS



CONFIGURACIÓN

REMITENTE:
angela_cali@cu.uecsg.edu.ec

ARCHIVO:
TESIS PROTECCION EXCAVACION PROFUNDA...JUDITH SANCHEZ - 2019A.docx

REMITENTE:
angela_cali@cu.uecsg.edu.ec

ARCHIVO:
TESIS PROTECCION EXCAVACION PROFUNDA...JUDITH SANCHEZ - 2019A.docx

COINCIDENCIAS

FUENTES

DOCUMENTO COMPLETO

MOSTRAR EN EL TEXTO

Citas

Paréntesis

Diferencias detalladas de texto

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE QUARAQUIL
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

TEMA:

Análisis de la metodología constructiva y de costos para la protección de una excavación profunda mediante conformación de salud y tablastacado en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Durán

AUTORA:

Sánchez Fajardo, Judith del Carmen

Título de titulación previo a la obtención del grado de:

INGENIERO EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

TUTOR:

Cali Proaño, Ángela Francisca, Ing

Guayaquil, Ecuador

AGRADECIMIENTO

Tengo tanto que agradecer que me resultó muy difícil sintetizarlo en media página, porque ha sido un camino de mucho esfuerzo en el que experimenté abandonar una meta y luego armarme de valor y firmeza para retomarla. Sin duda, esto no lo hubiera logrado sin la ayuda de Dios que fue esa voz interna que me alentaba a ser constante y tener siempre buena actitud en todo este tiempo. A mi esposo Danny y mis hijos Julio Alfredo y Santiago, que me apoyaron y estuvieron conmigo en todo momento compartiendo sacrificios o tareas inclusive. Al resto de mi familia, madre, padre, hermanas, tíos, que de alguna manera me alentaron para continuar y culminar con éxito. En el aspecto laboral, a mis jefes que me dieron la oportunidad dentro de la jornada de trabajo de tomar clases, a mis compañeros de trabajo, cada uno en algún momento me brindaron su apoyo para el desarrollo de mis tareas. Valoro la ayuda de todos, en realidad necesitaría de muchas hojas para nombrarlos, me siento muy bendecida por esa solidaridad y estoy agradecida por eso.

Finalmente, pero no menos importante, agradezco a mi tutora, la Ing. Ángela Cali, por su acompañamiento y guía en el desarrollo de este trabajo final.

Judith Sánchez Fajardo

DEDICATORIA

Con mucho orgullo dedico este trabajo a mis hijos para que tengan un ejemplo a seguir de perseverancia y esfuerzo, pese a las dificultades que tuve que enfrentar combinando prioridades en lo laboral y en lo personal, como mujer y madre de familia. Y a todas aquellas personas que por el motivo que sea no lograron culminar su carrera profesional y piensan erróneamente que ya es tarde para empezar o retomar, pues definitivamente les digo que no lo es. La decisión es difícil y el camino a seguir requiere de esfuerzo, pero no es imposible.

Judith Sánchez Fajardo



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

COMPTE GUERRERO, FLORENCIO ANTONIO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

MORA ALVARADO, ENRIQUE ALEJANDRO
COORDINADOR DE LA CARRERA

f. _____

VEGA VERDUGA, JORGE ALBERTO
OPONENTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN

CALIFICACIÓN

f. _____

CALI PROAÑO, ÁNGELA FRANCISCA
TUTOR

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	2
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. PROBLEMÁTICA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	4
1.4. ALCANCE.....	5
1.5. OBJETIVOS	5
<i>1.5.1 Objetivo General.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>5</i>
CAPÍTULO 2 MARCO URBANO.....	7
2.1. UBICACIÓN.....	7
2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	7
CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO	9
3.1. SUELOS	9
<i>3.1.1 Clasificación del suelo.....</i>	<i>9</i>
3.2. SUELOS COHESIVOS Y SUELOS NO COHESIVOS.....	11
3.3. ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	13
3.4. EXCAVACIONES.....	17
<i>3.4.1 Procedimiento de Trabajo</i>	<i>17</i>
<i>3.4.2 Medición de volúmenes.....</i>	<i>19</i>
<i>3.4.3 Tipo de Excavaciones a cielo abierto</i>	<i>21</i>
3.5. SISTEMAS DE PROTECCIÓN.....	24
<i>3.5.1 Conformación de Taludes.....</i>	<i>24</i>
<i>3.5.2 Entibamiento y apuntalamiento</i>	<i>31</i>
<i>3.5.3 Tablestacas</i>	<i>32</i>
CAPÍTULO 4 ANÁLISIS EN OBRA.....	39
4.1. SISTEMA DE PROTECCIÓN 1 DE TABLESTACADO PARA POZO DE BOMBEO	39
<i>4.1.1 Trazado y Replanteo</i>	<i>39</i>
<i>4.1.2 Equipo y Maquinaria utilizada</i>	<i>40</i>
<i>4.1.3 Procedimiento de Trabajo</i>	<i>42</i>
<i>4.1.4 Rendimientos del hincado</i>	<i>45</i>
<i>4.1.5 Análisis económico del tablestacado.....</i>	<i>45</i>
4.2. SISTEMA DE PROTECCIÓN 2 DE TALUD PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	46
<i>4.2.1 Trazado y Replanteo</i>	<i>46</i>
<i>4.2.2 Equipo y Maquinaria utilizada</i>	<i>47</i>
<i>4.2.3 Procedimiento de Trabajo</i>	<i>48</i>
<i>4.2.4 Rendimientos obtenidos de la conformación del talud.....</i>	<i>53</i>
<i>4.2.5 Análisis económico del trabajo realizado en la conformación del talud</i>	<i>56</i>
4.3. RESUMEN COMPARATIVO ENTRE AMBOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA EL ÁREA DE LA PTAR.....	56

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
5.1. CONCLUSIONES	58
5.2. RECOMENDACIONES	60
CAPÍTULO 6 BIBLIOGRAFÍA.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CONSISTENCIA DE LAS ARCILLAS EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	14
TABLA 2. ÁNGULOS MÁXIMOS PARA PAREDES NO ENTIBADAS EN EXCAVACIONES ATALUDADAS	26
TABLA 3. REGISTRO DEL RENDIMIENTO DIARIO DE LA HINCA DE TABLESTACADO.....	45
TABLA 4. PLANILLA DE LIQUIDACIÓN ECONÓMICA DEL CONTRATO DE ALQUILER, HINCADA, EXTRACCIÓN Y APUNTALAMIENTO DE TABLESTACADO.	46
TABLA 5. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PERFORACIÓN # 3 REALIZADA EN SITIO DE LA PTAR.	50
TABLA 6. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PERFORACIÓN NO. 4 REALIZADA EN SITIO DE LA PTARD.	50
TABLA 7. VOLÚMENES REGISTRADOS DE LA EXCAVACIÓN REALIZADA PARA CONFORMACIÓN DEL TALUD.	55
TABLA 8. RENDIMIENTO DIARIO DE EXTRACCIÓN DE TIERRA Y CARGA EN VOLQUETA.....	55
TABLA 9. PRESUPUESTO DEL TRABAJO EXCAVACIÓN Y RELLENO DE TALUDES.....	56
TABLA 10. TABLA RESUMEN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA EL ÁREA DE LA PTAR.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VISTA DE LA UBICACIÓN DEL PROYECTO DESDE EL GOOGLE MAPS	7
FIGURA 2. VISTA EN PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. .	8
FIGURA 3. CORTE GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	8
FIGURA 4. CAPAS QUE CONFORMAN LA SUPERFICIE DEL TERRENO. RECUPERADO DE HTTPS://ES.SLIDESHARE.NET/PAEZDA2/12-SUELOS-31465471	11
FIGURA 5. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA REPRESENTAR A LOS SUELOS. RECUPERADO DE “MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES”, DE CRESPO, C.V. (2004), P. 27, MÉXICO.	12
FIGURA 6. ESTRATIGRAFÍA DE UN SONDEO. RECUPERADO DE “MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES”, DE CRESPO, C.V. (2004), P. 27, MÉXICO.....	12
FIGURA 7. INFORME DE RESULTADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA PERFORACIÓN No. 3 REALIZADA EN EL SITIO DEL PROYECTO.	16
FIGURA 8. EXTRACCIÓN DE LA TIERRA Y CARGA EN VEHÍCULO DE TRANSPORTE EN UNA MISMA TAREA. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).....	18
FIGURA 9. EXTRACCIÓN, CARGA Y TRANSPORTE DE LAS TIERRAS, EN UNA SOLA TAREA MEDIANTE UN BULLDOZER. RECUPERADO DE “LAS ACTUACIONES EN EL TERRENO Y LA CIMENTACIÓN”, DE AMO, P.M.P.D. (2015), P. 88, MADRID.....	19
FIGURA 10. INCREMENTO DEL VOLUMEN PRODUCIDO POR EL ESPONJAMIENTO DE LAS TIERRAS. RECUPERADO DE “FUNDAMENTOS DE CONSTRUCCIÓN”, DE FERRI, J.C., PÉREZ, V.S., GARCÍA E.G. (2013), P. 14, ESPAÑA.	20
FIGURA 11. DISMINUCIÓN DE VOLUMEN PRODUCIDO POR EL ASENTAMIENTO DE LAS TIERRAS. RECUPERADO DE “FUNDAMENTOS DE CONSTRUCCIÓN”, DE FERRI, J.C., PÉREZ, V.S., GARCÍA E.G. (2013), P. 15, ESPAÑA.	20
FIGURA 12. VALORES DE COEFICIENTES, ÁNGULO DE TALUD NATURAL Y PESO EN TONELADAS POR METRO CÚBICO DE CIERTA CLASE DE TERRENOS. RECUPERADO DE “FUNDAMENTOS DE CONSTRUCCIÓN”, DE FERRI, J.C., PÉREZ, V.S., GARCÍA E.G. (2013), P. 16, ESPAÑA.....	20
FIGURA 13. EXCAVACIÓN DE UNA ZAPATA. RECUPERADO DE HTTPS://WWW.ARQHYS.COM/CONSTRUCCIONES/EXCAVACION-PARA- CIMENTOS.HTML	21
FIGURA 14. EXCAVACIÓN Y ARMADURA PARA LAS ZAPATAS CORRIDAS DE LA CIMENTACIÓN. RECUPERADO DE HTTP://WWW.ENERGIEHAUS.ES/CASA-MG- MOVIMIENTOS-TIERRA-EXCAVACIONES-CIMENTACION-SANEAMIENTO/	22
FIGURA 15. EXCAVACIÓN EN VACIADO. RECUPERADO DE “LAS ACTUACIONES EN EL TERRENO Y LA CIMENTACIÓN”, DE AMO, P.M.P.D. (2015), P. 55, MADRID.	22
FIGURA 16. EXCAVACIÓN PARA CIMENTACIONES PROFUNDAS. RECUPERADO DE HTTP://WWW.EADIC.COM/TIPOS-DE-CIMENTACION-DESCRIPCIONES/	23
FIGURA 17. TRABAJOS DE EXCAVACIÓN POR DEBAJO DE LA RASANTE DEL TERRENO EN EJECUCIÓN DE VACIADOS. RECUPERADO DE “LAS ACTUACIONES EN EL TERRENO Y LA CIMENTACIÓN”, DE AMO, P.M.P.D. (2015), P. 55, MADRID.....	23
FIGURA 18. EXCAVACIÓN EN POZO PARA CIMENTACIÓN. RECUPERADO DE “LAS ACTUACIONES EN EL TERRENO Y LA CIMENTACIÓN”, DE AMO, P.M.P.D. (2015), P. 56, MADRID.	24

FIGURA 19. TALUD EN DISTINTOS TIPOS DE SUELO. RECUPERADO DE “FUNDAMENTOS DE CONSTRUCCIÓN”, DE FERRI, J.C., PÉREZ, V.S., GARCÍA E.G. (2013), P. 13, ESPAÑA.....	25
FIGURA 20. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE EXCAVACIÓN, ESTOS VALORES HAY QUE DIVIDIRLOS ENTRE UN FACTOR DE SEGURIDAD. RECUPERADO DE “INGENIERÍA GEOTÉCNICA”, DE RODRÍGUEZ, W.S. (2016), P. 6, PERÚ.	25
FIGURA 21. EJECUCIÓN DEL VACIADO CON CORTE VERTICAL Y POSTERIOR EJECUCIÓN DE MURO DE SÓTANO. RECUPERADO DE “LAS ACTUACIONES EN EL TERRENO Y LA CIMENTACIÓN”, DE AMO, P.M.P.D. (2015), P. 107, MADRID.....	27
FIGURA 22. SOBRECARGAS CERCANAS A EXCAVACIONES (NCh 349). RECUPERADO DE “PROCESOS Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN”, DE SOLMINIHAC, T.H.D., & THENOUX, Z.G. (2011), P. 276, CHILE.	28
FIGURA 23. SOBRECARGA EN EL BORDE DE LA EXCAVACIÓN (NCh 349). RECUPERADO DE “PROCESOS Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN”, DE SOLMINIHAC, T.H.D., & THENOUX, Z.G. (2011), P. 277, CHILE.	28
FIGURA 24. RELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DEL TALUD B Y EL FACTOR DE ESTABILIDAD N_s PARA DIFERENTES VALORES DEL FACTOR DE PROFUNDIDAD N_b EN SUELOS COHESIVOS (SEGÚN TAYLOR, 1937). RECUPERADO DE “INGENIERÍA DE CIMENTACIONES”, DE PECK, HANSON & THORNBURN, P. 341, MÉXICO.....	29
FIGURA 25. TALUD PROTEGIDO CON HORMIGÓN PROYECTADO. RECUPERADO DE “PROCESOS Y TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN”, DE SOLMINIHAC, T.H.D., & THENOUX, Z.G. (2011), P. 279, CHILE.	30
FIGURA 26. MALLA DE TRIPLE TORSIÓN REFORZADA. RECUPERADO DE HTTP://WWW.INACCES.COM/SERVICIOS/TALUDES/MALLAS-METALICAS-TRIPLE-TORSION/	31
FIGURA 27. MÉTODOS COMUNES PARA APUNTALAR LOS FRENTE DE LAS EXCAVACIONES POCO PROFUNDAS. RECUPERADO DE “INGENIERÍA DE CIMENTACIONES”, DE PECK, HANSON & THORNBURN, P. 206, MÉXICO.....	32
FIGURA 28. TABLESTACAS METÁLICAS. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 143, ESPAÑA.	33
FIGURA 29. MUELLE DE BLANKENBERG, BÉLGICA, FORMADO POR TABLESTACAS METÁLICAS. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 147, ESPAÑA.....	33
FIGURA 30. SISTEMAS DE TABLESTACAS SEGÚN SU SOSTENIMIENTO FRENTE A LOS EMPUJES. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 148, ESPAÑA.....	34
FIGURA 31. PANTALLAS DE TABLESTACAS AUTOPORTANTES. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 149, ESPAÑA.	34
FIGURA 32. TABLESTACA ARRIOSTRADA CON ANCLAJE AL TERRENO. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 149, ESPAÑA.	35

FIGURA 33. PANTALLA ARRIOSTRADA AL TERRENO. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 149, ESPAÑA.	35
FIGURA 34. PANTALLAS DE TABLESTACAS ARRIOSTRADAS CON PERFILERÍA METÁLICA. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 151, ESPAÑA.....	36
FIGURA 35. TABLESTACA ARRIOSTRADA. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 152, ESPAÑA.	37
FIGURA 36. TABLESTACA ANCLADA. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 152, ESPAÑA.	37
FIGURA 37. ARRIOSTRAMIENTO Y ANCLAJE DE PANTALLA DE TABLESTACAS. RECUPERADO DE “PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES Y ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN”, DE YEPES, V.P., P. 153, ESPAÑA.....	38
FIGURA 38. ESQUEMA DE EXCAVACIÓN PARA EL POZO DE BOMBEO. LAS MEDIDAS INTERIORES SON 1.50M X 1.50M, EL ESPESOR DEL MURO ES DE 0.25M Y SE CONSIDERA 1M EN CADA LADO DE SOBRECANTO DESDE LA CARA EXTERIOR DEL MURO, RESULTANDO UNA EXCAVACIÓN EN TOTAL DE 4M DE CADA LADO.	40
FIGURA 39. MARTINETE DE CABRESTANTE PARA HINCAR TABLESTACAS. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).....	41
FIGURA 40. HINCADO DE LA TABLESTACA CON EL SUPLEX IMPLEMENTADO EN EL MARTILLO DE LA MÁQUINA. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).	41
FIGURA 41. EXCAVACIÓN DE 1.50M DE PROFUNDIDAD PREVIO AL HINCADO DE LAS TABLESTACAS. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).....	42
FIGURA 42. MANIOBRA DEL BRAZO DE LA EXCAVADORA. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).	42
FIGURA 43. POSICIONAMIENTO DE LA TABLESTACA EN EL SITIO DE LA HINCA. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).....	43
FIGURA 44. ANILLOS COLOCADOS EN EL TABLESTACADO PARA DAR MAYOR SEGURIDAD PARA EL EMPUJE LATERAL DE LA TIERRA. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).	43
FIGURA 45. ANILLOS COLOCADOS EN EL TABLESTACADO PARA DAR MAYOR SEGURIDAD PARA EL EMPUJE LATERAL DE LA TIERRA. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).	44
FIGURA 46. SACADA DE LA TABLESTACA MEDIANTE UNA GRÚA. ELABORACIÓN PROPIA.....	44
FIGURA 47. ESQUEMA DE EXCAVACIÓN PARA PLANTA DE TRATAMIENTO. LAS MEDIDAS INTERIORES SON 10.70M X 4.50M, EL ESPESOR DEL MURO ES DE 0.25M Y SE CONSIDERA 1M EN CADA LADO DE SOBRECANTO DESDE LA CARA EXTERIOR DEL MURO, RESULTANDO UNA EXCAVACIÓN EN TOTAL DE 13.20M X 7.00M.	47
FIGURA 48. TRAZADO Y EXCAVACIÓN DE LA PTAR. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).....	47
FIGURA 49. RETROEXCAVADORA MARCA DOOSAN MODELOS DX225LC-5. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).....	48

FIGURA 50. CORTE DE LA PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, EN EL QUE SE APRECIA QUE ES UNA ESTRUCTURA SEMIENTERRADA.....	49
FIGURA 51. UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES REALIZADAS EN EL ÁREA DONDE SE PROYECTÓ LA CONSTRUCCIÓN DE LA PTAR. RECUPERADO DEL ESTUDIO DE SUELO E INFORME TÉCNICO DEL PROYECTO ELABORADO EN NOVIEMBRE, 2018	49
FIGURA 52. CONFORMACIÓN DEL TALUD EN LA EXCAVACIÓN DE LA PTAR. ELABORACIÓN PROPIA.....	51
FIGURA 53. ÁREA DE EXCAVACIÓN JUNTO AL TABLESTACADO DEL POZO DE BOMBEO. POR C. FAJARDO. (DURÁN, 2019).....	51
FIGURA 54. CONFORMACIÓN DEL TALUD EN LA EXCAVACIÓN DE LA PTAR. ELABORACIÓN PROPIA.....	52
FIGURA 55. SEGUNDA PARTE DE LA EXCAVACIÓN DE LA PTAR. ELABORACIÓN PROPIA.....	52
FIGURA 56. SEGUNDA PARTE DE LA EXCAVACIÓN DE LA PTAR. ELABORACIÓN PROPIA.....	53
FIGURA 57. SECTORIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE LOS TALUDES PARA POSTERIOR CÁLCULO DE VOLÚMENES. OBTENIDO DE LAS PLANILLAS DE AVANCE DE OBRA ELABORADO POR EL RESIDENTE.....	54
FIGURA 58. SECTORIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE LOS TALUDES PARA POSTERIOR CÁLCULO DE VOLÚMENES. OBTENIDO DE LAS PLANILLAS DE AVANCE DE OBRA ELABORADO POR EL RESIDENTE.....	54
FIGURA 59. PROGRAMACIÓN DE LOS TRABAJOS DE OBRA CIVIL DE LA PTAR CON TIEMPOS REALES DE EJECUCIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.	57

RESUMEN

En una obra que se requiere de una excavación profunda es muy importante la selección de un sistema de protección para evitar accidentes de los obreros. En el presente trabajo de titulación se realizó un análisis comparativo entre la Conformación de Taludes y Tablestacados utilizados durante la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Durán. Esta planta era una estructura semienterrada que requería de una excavación desde el terreno natural de 3.10 metros de profundidad, y, a criterio del Residente de Obra, luego de haber analizado el estudio de suelos determinó realizar un sistema de protección de Conformación de Taludes. La planta tenía un Pozo de Bombeo que requería de una excavación de 6.89 metros de profundidad y se realizó un Tablestacado como sistema de protección. En el marco teórico se analizó la Clasificación de los Suelos, el contenido de un Estudio Geotécnico según lo establecido en la Norma Ecuatoriana de Construcción y lo relacionado a excavaciones y sus tipos. Se realizó un análisis al informe de resultados de ensayos de laboratorio de una de las perforaciones realizadas en el sitio del proyecto, para conocer los parámetros que aportan para determinar el sistema a implementar en una excavación. En el resumen comparativo resultó una variación tanto en tiempo como en costos del 80% entre ambos sistemas. La aplicación de una Ingeniería de Valor al revisar la documentación técnica del proyecto garantiza la elaboración de un presupuesto eficiente y la selección de sistemas constructivos óptimos.

Palabras Claves: EXCAVACIÓN PROFUNDA; SISTEMA DE PROTECCIÓN; CONFORMACIÓN DE TALUDES; TABLESTACADOS; ESTUDIO GEOTÉCNICO; PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El Ministerio del Ambiente, en el Acuerdo No. 061 de la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, en su Art. 210, prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos y ojos de agua. Establece además en su Art. 211 que la gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en dicho Libro. (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015)

De acuerdo a las definiciones establecidas por el Ministerio del Ambiente, el Agua Residual Industrial corresponde al agua de desecho generada en las operaciones o procesos industriales. El Agua Residual Doméstica corresponde a la mezcla de desechos líquidos de uso doméstico evacuados de residencias, locales públicos, educacionales, comerciales e industriales. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es un conjunto de obras, facilidades y procesos, implementados para mejorar las características del agua residual doméstica e industrial. Dicha entidad ha desarrollado normas generales para la descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce. Las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecidos en la Norma, deberán ser tratadas adecuadamente. Así como también regulan los permisos de descargas de aguas residuales industriales, ya sea al alcantarillado público o a cuerpos de agua, a través de un instrumento administrativo que faculta la actividad del regulado a realizar sus descargas al ambiente, siempre que éstas se encuentren dentro de los parámetros establecidos en las normas técnicas ambientales nacionales. (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015)

De acuerdo a las definiciones establecidas por el Ministerio del Ambiente, la Licencia Ambiental es el permiso que otorga la Autoridad Ambiental Competente a una persona natural o jurídica, para la ejecución de un proyecto, obra o actividad. En ella se establece la obligatoriedad del cumplimiento de la normativa ambiental aplicable por parte del regulado para prevenir, mitigar o corregir los efectos indeseables que el proyecto, obra o actividad autorizada pueda causar en el ambiente.

Según un artículo publicado en la página web del Diario El Telégrafo, en mayo de 2018, el 41% de las industrias del país se desarrolla en Guayas. Los cantones principales de la provincia –aparte de Guayaquil- en donde más aumentó la industria fueron Daule con el 21.4% de crecimiento y 332 empresas; Durán, con el 12.8% y 667 empresas; y Samborondón que creció el 12.4% y tiene 1.370 compañías. Por lo que, Guayaquil, Samborondón, Durán y Daule son las ciudades donde más se desarrolla la industria. (EL TELÉGRAFO, 2018)

En Durán en el sector de la vía Durán-Tambo, Provincia del Guayas, lugar donde se ubica el Proyecto en estudio de este trabajo de titulación, cuyo nombre se lo mantendrá en reserva debido a la suscripción de un convenio de confidencialidad entre el Propietario y la compañía constructora INMOMARIUXI C. A., se desarrolla el sector industrial que en algunos casos sus procesos de descarga de aguas residuales lo realizan a través de pozos sépticos, y, ante las regulaciones actuales por parte del Ente Regulador Ambiental y como parte de la emisión o actualización de un Licenciamiento Ambiental está la obligación de implementar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas e Industriales (PTAR) que garantice el correcto proceso de descargas a un cuerpo de agua dulce, en este caso, al Río Guayas, motivo por el cual se generó un concurso para seleccionar la compañía que presente la mejor alternativa técnico – económica para la ejecución del Estudio, Diseño, Desarrollo de Ingeniería, Construcción, Fabricación y Provisionamiento de Equipos, Montajes y Puesta en Marcha para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas e Industriales para el Proyecto.

1.2. Problemática

La compañía constructora INMOMARIUXI C. A. participó en el concurso considerando un diseño elaborado por la compañía SEMGROUP de acuerdo a los parámetros establecidos en las Bases, y fue seleccionada como la mejor oferta. La oferta económica contempló un capítulo de Trabajos Complementarios que incluyó el rubro de “Provisionamiento de tablestacas para excavaciones y obras civiles”, para las excavaciones a realizar tanto del pozo de bombeo como de la planta de tratamiento, por un valor global de US \$65,000 dólares, más el 10% de costos indirectos de la

compañía, resultando un valor final de US \$71,500. Las Bases del Concurso establecían que el proyecto sería manejado de forma integral o llave en mano, y que toda la responsabilidad es del contratista hasta su puesta en marcha.

Una vez adjudicado el proyecto, la compañía constructora contrató al Residente de Obra, quien inició sus labores revisando toda la documentación pre-contractual, esto es, Estudio de Suelos, Planos de la PTAR elaborados por la compañía SEMGROUP, presupuesto de construcción ofertado y programación de la obra. Producto de esta revisión determinó que no era necesario la utilización de las tablestacas para la excavación de la PTAR, ya que por el tipo de suelos era posible realizar dichos trabajos considerando como protección para la excavación, la conformación de un talud. Técnicamente ambos sistemas constructivos son equivalentes pero en costos y plazos marcan una gran diferencia.

1.3. Justificación del Tema

La modalidad de una contratación “Llave en Mano”, significa que por una suma global fija el Constructor se obliga frente al Cliente a ejecutar un proyecto, con base a planos aprobados, y entrega al Propietario la obra concluida y puesta en marcha. Esta modalidad si bien es cierto, representa un acuerdo bastante simple ya que no requiere de controles de medición de cantidades reales ejecutadas para efecto de pago, sino, únicamente el control de la calidad de la obra y cumplimiento de una programación convenida; sin embargo, en términos de presupuestos podría representar un riesgo, en el caso de una omisión durante la elaboración del presupuesto, esa diferencia debe ser asumida por el Constructor, y, en el caso de una optimización en el proceso constructivo que genere ahorros, ese resultado queda para el Constructor y no para el Cliente, porque el precio ya fue negociado y aceptado previamente.

El hallazgo del Residente de Obra, de identificar técnicamente que no era necesaria la utilización de tablestacas para proteger la excavación en el sitio de la Planta de Tratamiento tan solo revisando el Estudio de Suelos, genera las siguientes interrogantes, ¿Quién realizó el presupuesto revisó a detalle toda la documentación recibida?, ¿Determinaron el sistema constructivo de manera empírica?, ¿Cuáles son los parámetros en el Estudio de Suelos que permiten determinar qué sistema aplicar?,

¿Qué sistema constructivo se debería aplicar para proteger una excavación profunda buscando eficiencia tanto en tiempos como en costos?. Para determinar las respuestas a estas interrogantes, es que el presente trabajo de titulación realizará un análisis de los resultados de un estudio de suelos, así como un estudio comparativo entre estos dos sistemas constructivos de protección para excavación profunda, el mismo que se efectuará mediante un análisis de la metodología constructiva y de costos aplicando los precios unitarios contractuales de este proyecto.

1.4. Alcance

En el presente trabajo de titulación se utilizará como metodología la investigación de campo, la cual se realizará mediante técnicas de observación, registros fotográficos y manuales. Se recopilarán datos durante la ejecución de los trabajos, tanto de las tablestacas utilizadas para el pozo de bombeo como de la conformación del talud en el área de la planta de tratamiento, para determinar el cálculo de rendimientos de obra de ambos sistemas.

A través de una investigación teórica se analizarán los resultados mostrados en el estudio de suelos para identificar los parámetros que deben ser considerados para determinar un sistema constructivo para excavaciones, y, los conceptos relacionados a la protección de excavaciones profundas.

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Realizar un análisis de las metodologías constructivas y sus costos entre un Tablestacado y una Conformación de Taludes para poder determinar su uso, según los resultados de un estudio de suelos.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar los resultados de las perforaciones que se realizan para un estudio de suelos.

- Determinar los tiempos de hincas de las tablestacas, así como los tiempos de ejecución para la conformación de un talud.

Capítulo 2 MARCO URBANO

2.1. Ubicación

El proyecto se está ejecutando en la ciudad de Durán, en la vía Durán-Tambo, Provincia del Guayas.

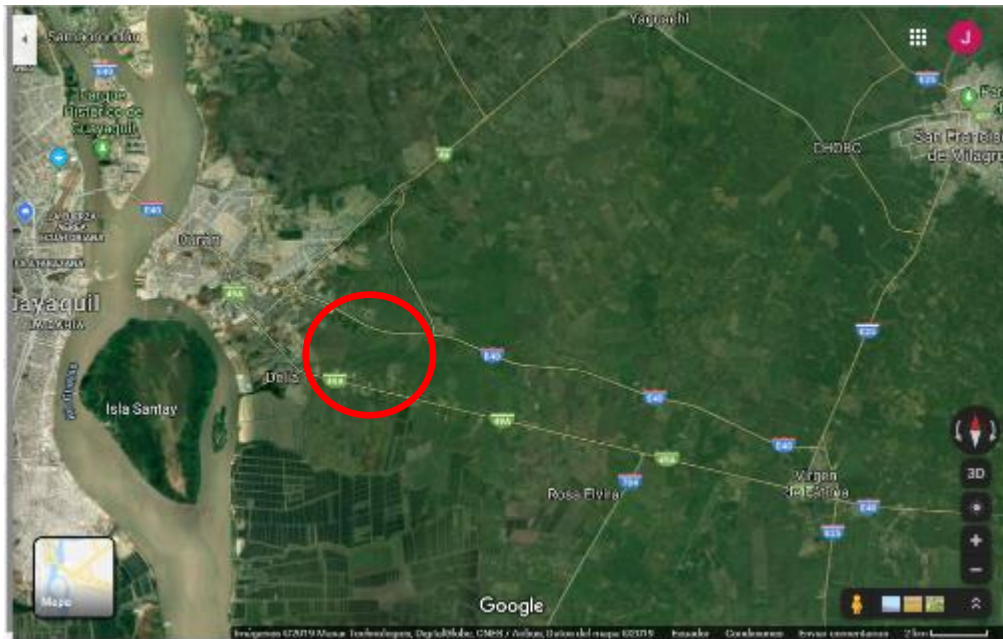


Figura 1. Vista de la ubicación del Proyecto desde el Google Maps
Fuente: Google Maps 2019

2.2. Características de la Planta de Tratamiento

- La Planta de Tratamiento es una estructura semi-enterrada, con dimensiones de 11.20m x 5.00m x 3.50m, conformada por una cimentación de una losa de 0.25m, más replantillo de 0.05m y debajo de esto se requería realizar un mejoramiento del terreno de 0.80m, reemplazando el material existente por una capa de pedraplén de 40cm y dos capas de 20cm de material importado compactado, lo que resulta una altura total de 4.60m.
- El Pozo de bombeo tiene dimensiones de 2.00m x 2.00m x 5.79m, conformada por una cimentación de una losa de 0.25m, más replantillo de 0.05m y un mejoramiento del terreno de las mismas características de la PTAR, lo que resulta una altura total de 6.89m.

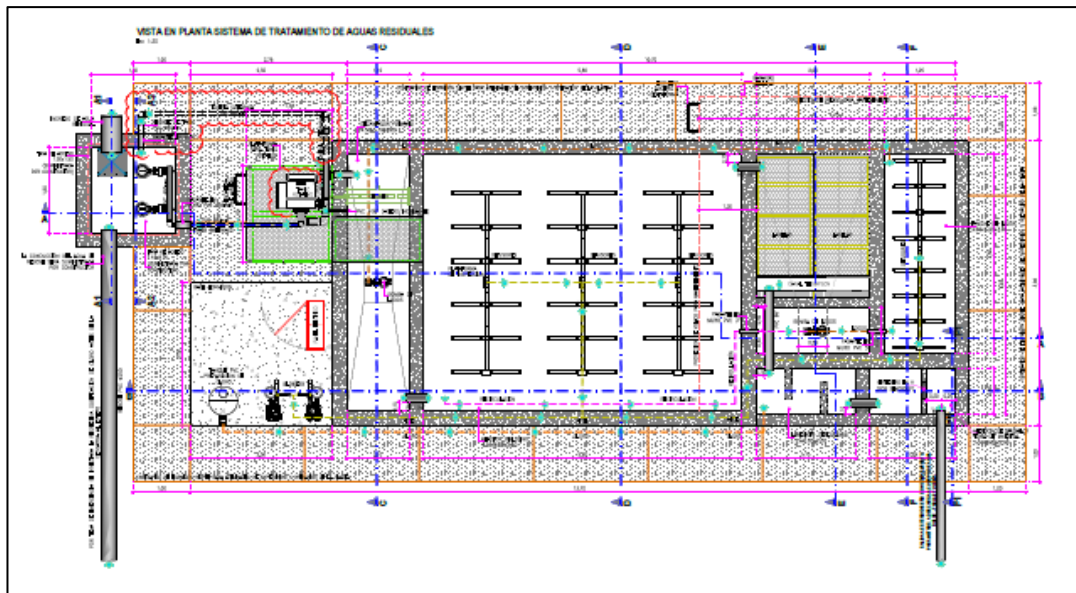


Figura 2. Vista en planta del sistema de tratamiento de aguas residuales.
 Fuente: Plano No. SG-02 elaborado por la compañía SEMGROUP para el proyecto

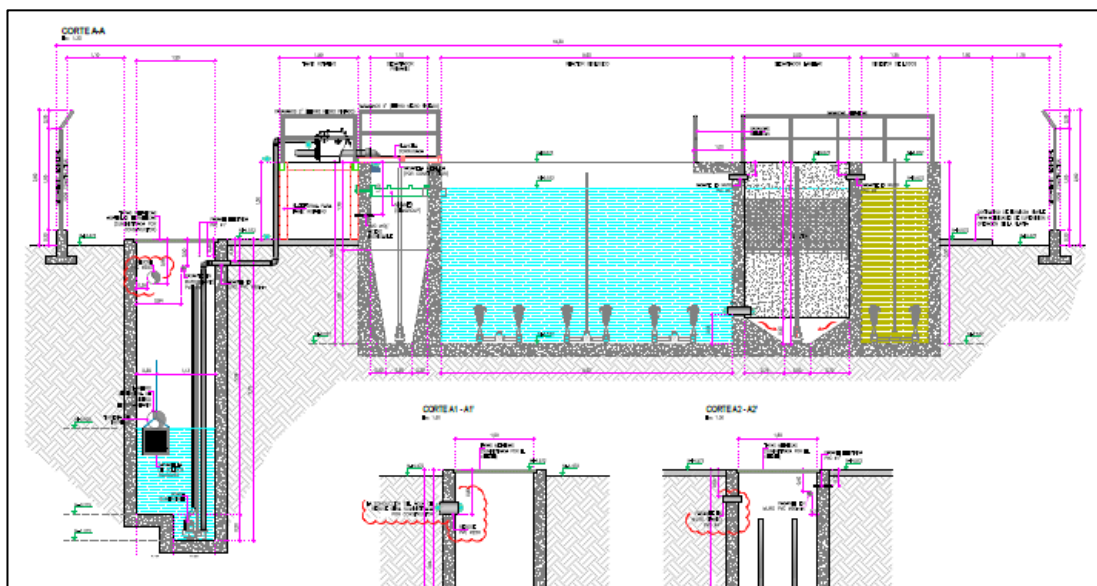


Figura 3. Corte General de la planta de tratamiento de aguas residuales.
 Fuente: Plano No. SG-04 elaborado por la compañía SEMGROUP para el proyecto

Capítulo 3 MARCO TEÓRICO

3.1. Suelos

Según la Real Academia Española define el término suelo como la Superficie Terrestre. En la industria de la construcción, para la ingeniería civil los términos roca y suelo corresponden a dos clases de materiales tanto para el diseño de las cimentaciones como trabajos de movimiento de tierras. Como señalan Peck, Hanson y Thornburn *“Se dice que roca es un agregado natural de granos minerales unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión. Por otra parte, se considera que suelo es un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medios mecánicos comunes, tales como la agitación en el agua”* (s.f.:29).

3.1.1 Clasificación del suelo

En la construcción comúnmente se utilizan cuatro términos para identificar al suelo, grava, arena, limo y arcilla, además de tratar de diferenciarlas a simple vista por su granulometría, es decir, grano grueso o grano fino, como lo afirman Peck, Hanson y Thornburn, a las gravas y a las arenas se les llama suelos de grano grueso, y a los limos y a las arcillas suelos de grano fino. La correcta identificación y/o clasificación del subsuelo resulta imprescindible para todas las ramas de la ingeniería civil, especialmente para el diseño de las cimentaciones y su consecuente movimiento de tierra. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es el método estándar de clasificación de suelos para obras de ingeniería adoptado en 1969 por la American Society for Testing and Materials (ASTM). La creación de este sistema como lo señalan Peck, Hanson y Thornburn *“... fue elaborado por Arthur Casagrande para el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U. Primero se le llamó sistema de clasificación para aeropistas (CA), y su objeto original era servir de ayuda en el proyecto y construcción de las aeropistas militares durante la Segunda Guerra Mundial. Después de la guerra fue adoptado con pequeñas modificaciones por el*

Cuerpo de Ingenieros y por el Bureau of Reclamation¹ de los E.U. con el nombre de sistema Unificado” (s.f.:54). Peck, Hanson y Thornburn en su libro Ingeniería de Cimentaciones, describen la siguiente clasificación que copio textual:

“De acuerdo con el sistema Unificado, los suelos de grano grueso se dividen en:

- 1. Grava y suelos gravosos; símbolo G*
- 2. Arenas y suelos arenosos; símbolo S*

Las gravas y las arenas se dividen separadamente en cuatro grupos:

- a. Bien graduadas, material relativamente limpio; símbolo W*
- b. Material bien graduado con excelente cementante arcilloso; símbolo C*
- c. Mal graduadas, material relativamente limpio; símbolo P*
- d. Materiales gruesos con finos, no comprendidos en los grupos anteriores; símbolo M*

Los suelos finos se dividen en tres grupos:

- 1. Suelos limosos inorgánicos y suelos arenosos muy finos, símbolo M*
- 2. Arcillas inorgánicas; símbolo C*
- 3. Limos y arcillas orgánicas; símbolo O*

Cada uno de estos tres grupos de suelos finos se subdivide de acuerdo al límite líquido en:

- a. Suelos finos con límite líquido de 50 o menos; es decir, de baja a mediana compresibilidad; símbolo L*
- b. Suelos finos con límite líquido mayor que 50; es decir, de elevada compresibilidad; símbolo H*

Suelos con elevada proporción de materia orgánica, usualmente fibrosos, como la turba y los fangos de muy alta compresibilidad, no se subdividen y se colocan en un grupo; su símbolo es Pt, basándose en la clasificación a simple vista” (s.f.:55).

¹ Establecida en 1902, la Oficina de Reclamación es mejor conocida por las presas, las centrales eléctricas y los canales que construyó en los 17 estados del oeste.
<https://www.usbr.gov/main/about/mission.html>

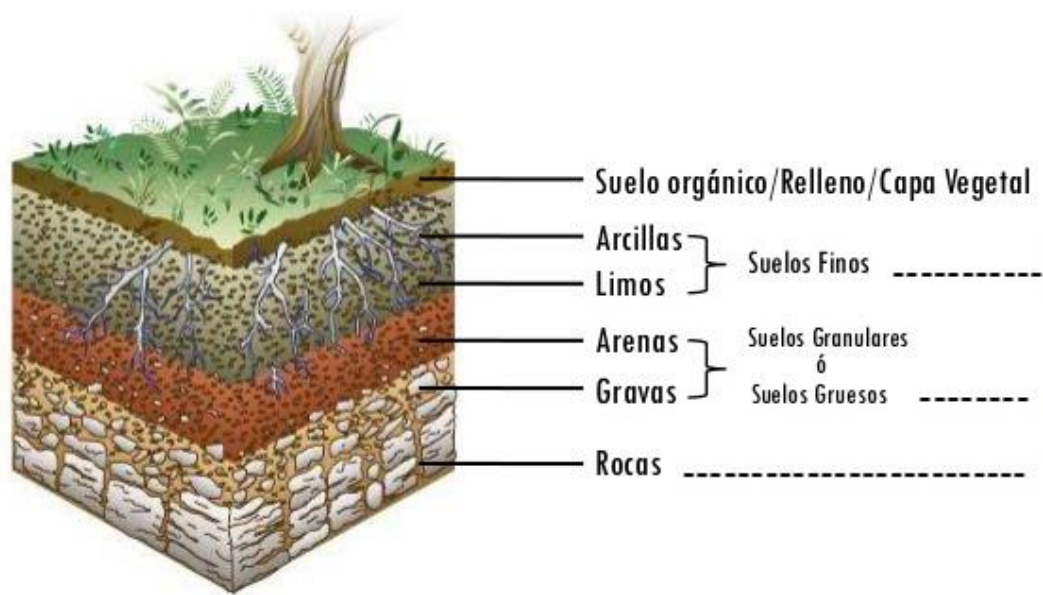


Figura 4. Capas que conforman la superficie del terreno. Recuperado de <https://es.slideshare.net/paezdaza2/12-suelos-31465471>

3.2. Suelos Cohesivos y Suelos No Cohesivos

Adicionalmente a la clasificación de suelos por su granulometría, existe una característica en particular que hace la distinción en los tipos de suelos, y es la cohesión. Según el Diccionario Básico de Geotecnia, *“Es el componente de la resistencia al corte del suelo dada por el término c . La cohesión es una característica propia de los materiales que presentan resistencia al corte bajo un esfuerzo normal nulo (un término en mecánica de rocas es resistencia intrínseca al corte)...”* (2012:46).

Debido a esta característica se clasifican en “cohesivos” y “no cohesivos”. Como lo define Carlos Crespo, *“Los suelos cohesivos son los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas. Los suelos no cohesivos son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación², como la arena y la grava”* (2004:26). Los tipos de suelos tienen una representación gráfica como se

² Aglomeración de partículas de un suelo por acción de agentes como la arcilla coloidal, los óxidos hidratados de hierro, y los carbonatos.
<http://www.diccionario.geotecnia.online/diccionario/cementacion/>

muestra en las siguientes figuras, utilizadas en un informe geotécnico o estudio de suelos.

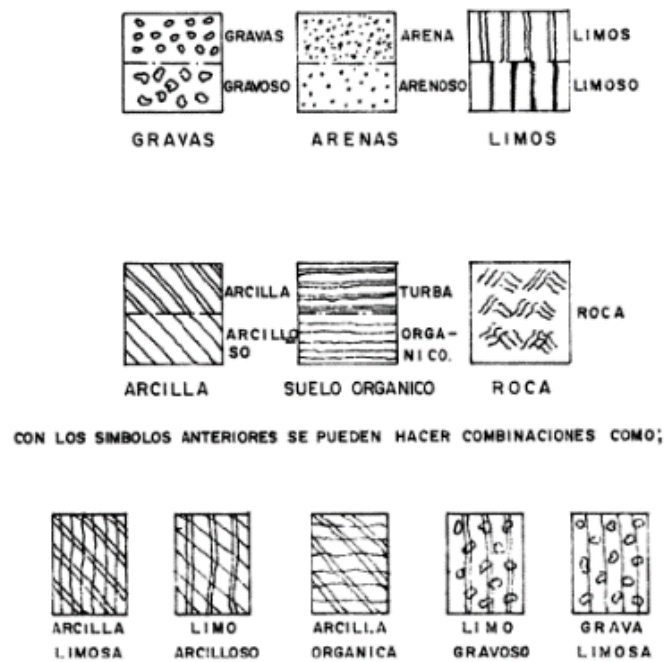


Figura 5. Símbolos empleados para representar a los suelos. Recuperado de “Mecánica de Suelos y Cimentaciones”, de Crespo, C.V. (2004), p. 27, México.

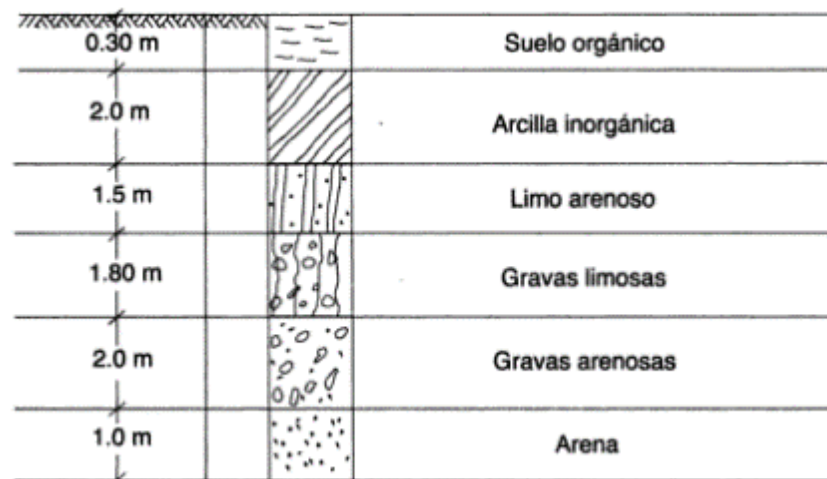


Figura 6. Estratigrafía de un sondeo. Recuperado de “Mecánica de Suelos y Cimentaciones”, de Crespo, C.V. (2004), p. 27, México.

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la norma ASTM, consideran como suelos no cohesivos o granulares, las gravas y arenas; y, como suelos cohesivos o finos, las arcillas y limos.

Esta clasificación de los suelos permite tener una idea preliminar de su comportamiento principalmente para los trabajos de excavación. Se ha identificado que los suelos cohesivos son los más resistentes al corte del suelo, puesto que su contextura de suelos finos contiene una propiedad de adherencia entre sus partículas por lo que no se desmorona y se puede excavar con pendientes laterales verticales, inclusive. De la teoría analizada en este capítulo, los suelos cohesivos incluyen limo arcilloso, arcilla arenosa, arcilla limosa, arcilla y arcilla orgánica, es decir, que cuando el suelo es más cohesivo es porque tiene mayor cantidad de arcilla y por consiguiente presenta menos probabilidades de que se produzca un derrumbe. Mientras que, el suelo no cohesivo significa que tiene ausencia de adherencia puesto que sus partículas son relativamente grandes, es decir un suelo granular, y no ofrecen resistencia a la separación de sus partículas, como lo son las arenas y las gravas que son materiales sueltos y arenosos que no se unen muy bien.

3.3. Estudio geotécnico

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), Capítulo Geotecnia y Cimentaciones, código NEC-SE-GC, define que un estudio geotécnico consiste en un estudio, con las actividades necesarias para saber con certeza las características geotécnicas de un terreno, a través de una exploración de campo, ensayos y sondeos. Con base a este estudio se puede establecer las recomendaciones y los parámetros necesarios para el diseño de obras ingenieriles de suelo, que sean cimentaciones, excavaciones o sistemas de contención. La NEC establece además que en este tipo de estudio se hará constar la identificación, el espesor, la distribución y los parámetros obtenidos en las pruebas y ensayos de campo y en los de laboratorio. Deberá constar el resumen de los análisis y justificación de los criterios geotécnicos adoptados. También, el análisis de los problemas constructivos de las alternativas de cimentación y contención, la evaluación de la estabilidad de taludes temporales de corte, la necesidad y planteamiento de alternativas de excavaciones soportadas con sistemas temporales de contención en voladizo, apuntalados o anclados. Se deben incluir los análisis de estabilidad y deformación de las alternativas de excavación y construcción, teniendo en cuenta, además de las características de resistencia y deformabilidad de los suelos, la influencia de los factores hidráulicos. Debe incluir además, como un documento complementario o integrado al estudio geotécnico, las recomendaciones

para construcción, es decir, las alternativas técnicamente factibles para solucionar los problemas geotécnicos de excavación y construcción.

Según la NEC, como anexos en el informe de suelos se deben incluir: Planos de localización regional y local del proyecto, ubicación de los trabajos de campo, registros de perforaciones y resultado de pruebas y ensayos de campo y laboratorio. Se presentará el perfil geotécnico estimado del subsuelo (indicando claramente las incertidumbre en la interpretación) de acuerdo a las perforaciones o inspección de campo realizada, y la ubicación en planta de exploración in situ ejecutadas con respecto a la implantación y topografía del proyecto.

Como parte de las pruebas y ensayos de campo y laboratorio, la necesidad de conocer la resistencia al corte del suelo, la norma establece la elaboración del ensayo de compresión simple que permite obtener un valor de carga última del suelo. Este método de ensayo es aplicable sólo a materiales cohesivos. Como lo señalan Terzaghi y Peck, *“La consistencia de las arcillas y de otros suelos cohesivos se describe comúnmente con los términos blando, compacto, resistente y duro”* (1973:29).

Tabla 1. *Consistencia de las arcillas en función de la resistencia a la compresión simple*

Consistencia	Resistencia a la compresión simple q_u en Kg/cm ²
Muy blanda	Menos de 0.25
Blanda	0.25 – 0.5
Medianamente compacta	0.5 – 1.0
Compacta	1.0 – 2.0
Muy compacta	2.0 – 4.0
Dura	Mayor de 4.0

Nota. Recuperado de Karl Terzaghi y Ralph B. Peck, *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica.* (1973)

El estudio geotécnico representa un elemento de entrada fundamental para el diseño de un proyecto, tanto en la determinación del tipo de cimentación más adecuada para una edificación o estructura, como para determinar el sistema constructivo de una excavación. Como lo establece la NEC, el informe geotécnico debe contener las recomendaciones para construcción o sistema constructivo, esto es de obligatoria elaboración por parte del ingeniero geotécnico, donde se establecen las alternativas

técnicamente factibles para solucionar los problemas geotécnicos de excavación y construcción. Entre los ensayos de laboratorio que es de obligatoria aplicación para un geotecnista realizar conforme lo establece la norma, es imprescindible conocer la estratigrafía del suelo, resistencia y consistencia para orientar los métodos más adecuados durante la construcción. Las características básicas mínimas de los suelos a determinar con los ensayos de laboratorio son: Peso unitario, humedad natural, clasificación completa para cada uno de los estratos según el SUCS, resistencia al esfuerzo cortante. En la siguiente figura se muestra un informe de resultado de ensayos de laboratorio de una de las perforaciones realizadas en el proyecto, para análisis.



Figura 7. Informe de Resultado de Ensayos de Laboratorio de la Perforación No. 3 realizada en el sitio del proyecto.
 Fuente: Estudio de Suelos e Informe Técnico realizado por el Propietario del Proyecto en Noviembre, 2018

En la figura 7, se puede observar la estratigrafía cada 50 centímetros, identificación del nivel freático (N. F.), la clasificación del suelo según la SUCS, la descripción del

material, la humedad, límite líquido (LL), índice plástico (IP), porcentaje del tamiz que se usa para identificar suelos finos o granulares, peso volumétrico con el símbolo (γ) expresado en Kg/m³, resistencia a la compresión simple con el símbolo (q_u) mostrada en Kg/cm². El resultado de estos parámetros permite identificar los suelos cohesivos y no cohesivos y sus propiedades. Analizando lo mostrado en la figura 7, se observa dos tipos de estratos, según la clasificación del suelo, el primer estrato a una profundidad de aproximadamente 1.30 metros se tiene **grava (G)** que según lo analizado en numerales anteriores, corresponde a suelos granulares gruesos y por consiguiente no cohesivos. Posteriormente, el segundo estrato a partir de 1.30 metros de profundidad, se tiene **arcilla (C)** que corresponde a un suelo fino, que a su vez, de acuerdo al **límite líquido** que en todas sus capas es mayor que 50 poseen una elevada compresibilidad que se identifica con el símbolo (H), y que ya se conoce que la arcilla es un suelo cohesivo resistente al corte durante las excavaciones. Otro parámetro importante a considerar es la **Resistencia a la compresión simple (q_u)**, aplicando lo mostrado en la Tabla 1, la arcilla presenta una consistencia blanda (0.25 – 0.5) y medianamente compacta (0.5- 1.0). Otro parámetro a considerar es el **Pasante del tamiz No. 200**, que se usa para saber si los suelos son finos o gruesos, en este caso se observa que el contenido de finos es del 99.78%, a medida que la arcilla muestra capas de arena este número disminuye. Finalmente, se tiene el **Nivel Freático**, que en estos resultados se ha identificado una presencia de agua a 2.60 metros de profundidad.

3.4. Excavaciones

Como lo señala Del Amo Pérez, *“La excavación consiste en la extracción de tierras del terreno natural con el objeto de rebajar su nivel con respecto al original, cuando el terreno natural está más alto que el perfil definitivo”* (2015:54).

3.4.1 Procedimiento de Trabajo

El trabajo de excavación como tal conlleva la ejecución de tres actividades, el corte de las tierras, la carga a un vehículo de transporte y el traslado a otro punto ya sea dentro del mismo terreno o fuera de la obra. Estas tareas, dependiendo de la logística que se adopte y las condiciones del área, podrían realizarse de manera independiente o agruparlas entre ellas. Las variables que determinan esta secuencia constructiva

dependen de las distancias de acarreo que se han establecido, facilidades de acceso del vehículo de transporte a la zona de excavación, etc. Comúnmente, estas actividades se agrupan de la siguiente manera:

- Extracción y carga en vehículo de transporte en una misma tarea. Transporte dentro del solar o vertedero como segunda tarea; o
- Extracción, carga y transporte de las tierras, en una sola tarea, utilizando la misma máquina, considerando que el acarreo es dentro de la misma obra.



Figura 8. Extracción de la tierra y carga en vehículo de transporte en una misma tarea. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).



Figura 9. Extracción, carga y transporte de las tierras, en una sola tarea mediante un bulldozer. Recuperado de “Las actuaciones en el terreno y la cimentación”, de Amo, P.M.P.D. (2015), p. 88, Madrid.

3.4.2 Medición de volúmenes

Cuando las tierras son extraídas de su lugar de origen, por cualquier medio y vertidas en otro lugar, el nuevo volumen ocupado siempre es superior, es decir, tiene un aumento de volumen, esta acción se denomina Esponjamiento. De igual manera ocurre cuando procedemos al relleno y compactación de un vacío, el volumen de la tierra se reduce, esta acción se denomina Compactación. Ambos efectos poseen un factor determinado para calcular su volumen final, que se analiza a continuación. En la figura 12 se muestran los diferentes valores de los coeficientes de esponjamiento y asentamiento en % de cierta clase de terrenos.

Esponjamiento. Cuando en un terreno se excava un volumen de tierra V_0 , se convierte posteriormente en un volumen V_1 mayor que V_0 , es decir un incremento de volumen de valor $\Delta V = V_1 - V_0$. Si este incremento se divide por el volumen inicial V_0 se habrá obtenido el incremento de volumen por unidad y si se multiplica por cien, el incremento de volumen en tanto por ciento. A este valor se le denomina Coeficiente de esponjamiento (C_e). (Ferri Cortés, 2013)

$$C_e = \frac{(V_1 - V_0) \times 100}{V_0}$$

$$V_1 = V_0 \times \left(1 + \frac{C_e}{100} \right)$$

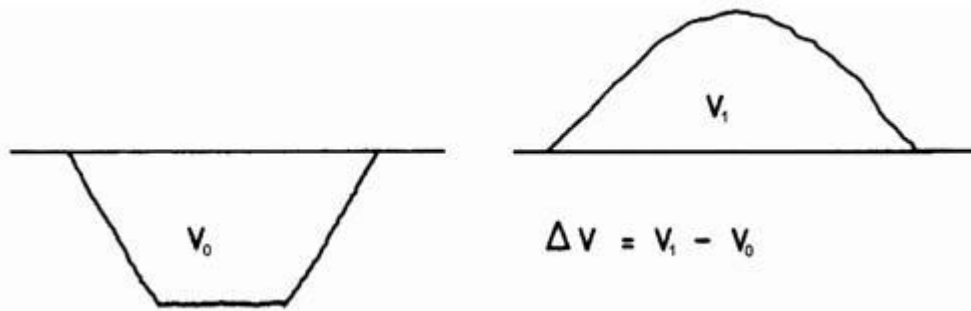


Figura 10. Incremento del volumen producido por el esponjamiento de las tierras. Recuperado de “Fundamentos de Construcción”, de Ferri, J.C., Pérez, V.S., García E.G. (2013), p. 14, España.

Asentamiento. Con el paso del tiempo, riegos, lluvias o incluso compactación manual o mecánica, el terreno que ocupaba un volumen V_1 pasa a reducirse a otro volumen V_2 . En este caso se tiene una pérdida de volumen de valor $V_1 - V_2$. Si esta pérdida se divide por el volumen inicial V_1 , se habrá obtenido la pérdida de volumen por unidad y si se multiplica por cien, la pérdida de volumen en tanto por ciento. A este valor se le denomina Coeficiente de Asentamiento (Ca). (Ferri Cortés, 2013)

$$Ca = \frac{(V_1 - V_2) \times 100}{V_1} \qquad V_2 = V_1 \times \left(1 - \frac{Ca}{100}\right)$$

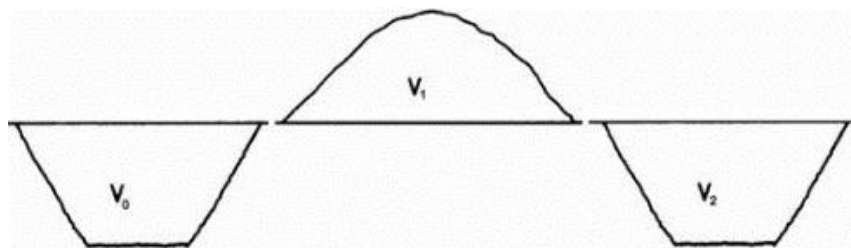


Figura 11. Disminución de volumen producido por el asentamiento de las tierras. Recuperado de “Fundamentos de Construcción”, de Ferri, J.C., Pérez, V.S., García E.G. (2013), p. 15, España.

Valores orientativos de las características de algunos terrenos				
Naturaleza de las tierras	Ángulo de talud natural	Peso (t/m ³)	Esponjamiento (%)	Asentamiento (%)
Arena fina, seca	10 a 20	1,4	10%	6%
Arena fina, mojada	15 a 25	1,6	12%	13%
Grava media húmeda	30 a 40	1,9 a 2,1	12%	17%
Tierra vegetal húmeda	30 a 45	1,6 a 1,7	11%	6%
Tierra muy compacta	40 a 50	1,6 a 1,8	16%	33%
Guijarros, escombros	40 a 50	1,5 a 1,7	15%	23%
Marga seca	30 a 45	1,5 a 1,6	15%	28%
Arcillas seca	30 a 50	1,6	15%	23%
Arcilla húmeda	0 a 20	1,8 a 2,2	12%	14%
Gres tierno, rocas diversas	50 a 90	2,0 a 2,5	15%	23%

Figura 12. Valores de coeficientes, ángulo de talud natural y peso en toneladas por metro cúbico de cierta clase de terrenos. Recuperado de “Fundamentos de Construcción”, de Ferri, J.C., Pérez, V.S., García E.G. (2013), p. 16, España.

3.4.3 Tipo de Excavaciones a cielo abierto

Las excavaciones se pueden realizar a cielo abierto o a cielo cubierto. Se entiende por cielo abierto a los trabajos de extracción de tierras que se realizan en la superficie del terreno; y, cielo cubierto cuando se realizan bajo la superficie del terreno, como el caso de los túneles. En el presente trabajo de titulación analizaremos el concepto de las excavaciones a cielo abierto, que se pueden clasificar según la forma volumétrica que poseen.

3.4.3.1 Excavación de zapata

Es una excavación de dimensiones pequeñas y similares en cuanto a longitud, ancho y profundidad, conforme a lo que establezcan los diseños estructurales de cimentación, no requiere de mayores consideraciones ingenieriles.



Figura 13. Excavación de una zapata. Recuperado de <https://www.arqhys.com/construcciones/excavacion-para-cimientos.html>

3.4.3.2 Excavación en zanja

Excavación estrecha, puesto que su longitud es muy superior al ancho. El ancho está condicionado a los procedimientos de ejecución (mayor a 0.5 metros y menor a 3.2 metros). La aplicación de este tipo de excavaciones puede destinarse para una

cimentación corrida, así como también para alojar diferentes instalaciones como una canalización de tuberías.



Figura 14. Excavación y armadura para las zapatas corridas de la cimentación. Recuperado de <http://www.energiehaus.es/casa-mg-movimientos-tierra-excavaciones-cimentacion-saneamiento/>

3.4.3.3 Excavaciones amplias o profundas

Este tipo de excavaciones se le asigna a aquellas de más de 3.2 metros de ancho y de una profundidad de varios metros, por lo general, cubren superficies iguales o superiores a las de la edificación. Las tierras a extraer se encuentran por debajo de la rasante del plano de acceso al edificio. Es la excavación más corriente en la ejecución de los sótanos en edificación o cimentaciones profundas, algunos autores lo denominan como Excavación en Vaciado.

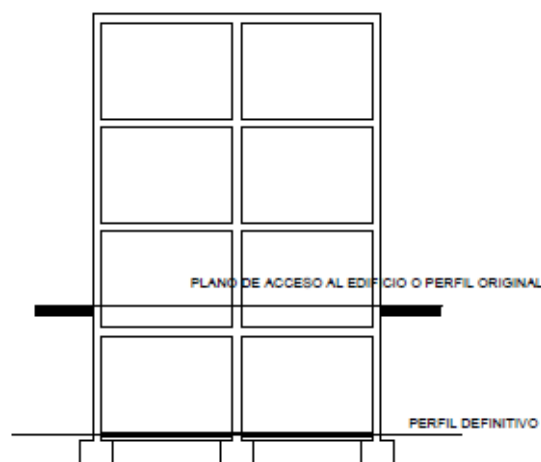


Figura 15. Excavación en vaciado. Recuperado de “Las actuaciones en el terreno y la cimentación”, de Amo, P.M.P.D. (2015), p. 55, Madrid.



Figura 16. Excavación para cimentaciones profundas. Recuperado de <http://www.eadic.com/tipos-de-cimentacion-descripciones/>



Figura 17. Trabajos de excavación por debajo de la rasante del terreno en ejecución de vaciados. Recuperado de “Las actuaciones en el terreno y la cimentación”, de Amo, P.M.P.D. (2015), p. 55, Madrid.

3.4.3.4 Pozos

Excavaciones de forma rectangular, circular o dimensiones simétricas. La profundidad máxima de excavación a máquina está entre 5 y 8 metros, aunque existe maquinaria con brazos con alargaderas que permiten alcanzar hasta los 12m de profundidad. Las máquinas más utilizadas son la excavadora de almeja y la retroexcavadora.



Figura 18. Excavación en pozo para cimentación. Recuperado de “Las actuaciones en el terreno y la cimentación”, de Amo, P.M.P.D. (2015), p. 56, Madrid.

3.5. Sistemas de Protección

En los trabajos de excavaciones se deben adoptar medidas necesarias para prevenir accidentes por derrumbes, según el tipo de suelos, condiciones del terreno y forma de ejecución de los trabajos. Como se indicó en el capítulo 3.1 es sumamente necesario el análisis del suelo a través de un estudio geotécnico, esto permitirá al constructor determinar el procedimiento más adecuado.

Como lo señalan Sominihac y Thenoux, *“Las técnicas de excavación que se empleen van en relación con el tamaño de la excavación, el tipo de suelo, presencia de agua y restricciones del entorno, tipo de transporte y planificación de la operación. La técnica a emplear debe ser siempre la más segura y además se debe balancear, adicionalmente, economía, rendimiento, impacto ambiental y otros factores”* (2011:270).

3.5.1 Conformación de Taludes

Como lo señalan Ferri, Pérez y García, *“Se entiende por talud el ángulo α de inclinación que forma la superficie de un terreno en su estado natural o el obtenido artificialmente, respecto al plano horizontal”* (2013:13). Tal como se ha indicado anteriormente, la arcilla es un suelo de gran cohesión por lo que puede mantener un talud casi vertical y a una profundidad no excesiva.

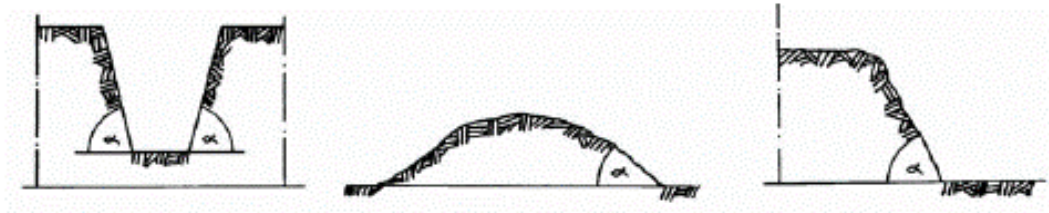


Figura 19. Talud en distintos tipos de suelo. Recuperado de “Fundamentos de Construcción”, de Ferri, J.C., Pérez, V.S., García E.G. (2013), p. 13, España.

Para un suelo cohesivo (arcilla o limo) y para un suelo granular (arena), se tiene las alturas máximas de excavación de la cohesión, ver figura 20. Se conoce también como la altura crítica de un talud vertical, o sea la profundidad del mismo hasta la cual se sostiene por sí solo sin necesidad de sostén lateral.

Cohesión, c (kg/cm ²)	ARCILLAS	ARENAS	ARENAS CON FINOS
	f=0 (m)	c=0 (m)	f,c ≠ 0 (m)
0.05	0.5	0	1.1
0.10	1.1	0	2.2
0.20	2.2	0	4.3
0.30	3.3	0	6.5
0.40	4.4	0	8.7

Figura 20. Profundidad máxima de excavación, estos valores hay que dividirlos entre un factor de seguridad. Recuperado de “Ingeniería Geotécnica”, de Rodríguez, W.S. (2016), p. 6, Perú.

Según Sominihac y Thenoux, “Según la profundidad de la excavación y la estabilidad del suelo una excavación abierta se puede diseñar de las siguientes formas. Taludes libres: vertical, inclinado, escalonado... Taludes protegidos: apuntalados, entibados” (2011:273). La selección o decisión de realizar un talud vertical, inclinado, libre o protegido, depende de varios factores y condiciones de la obra, como por ejemplo:

a) Tipo de terreno: Como ya se ha analizado en este trabajo de titulación, los suelos cohesivos son los más favorables para realizar excavaciones con talud vertical sin necesidad de apuntalamiento, considerando evidentemente una altura máxima promedio para tal efecto.

b) Área de trabajo: Dependiendo las restricciones de espacios se puede emplear taludes verticales o inclinados considerando la sobreexcavación que se requiere.

c) Tiempo que dure la excavación: Si la excavación permanecerá mucho tiempo abierta es recomendable proteger los taludes, más aún cuando alrededor del sitio se tendrá actividades de tráfico de maquinaria o transportación.

d) Presencia de agua: Ya sea la presencia de nivel freático o época invernal, se deberán programar las actividades de mitigación correspondientes.

3.5.1.1 Excavaciones con Talud Libre

Las excavaciones que se ajustan a este tipo son las de pocas profundidades y las condiciones del área de trabajo tienen el espacio disponible para desarrollar taludes. El tipo de material determinará la inclinación de los taludes, mientras más cohesivo sea el material, los taludes pueden realizarse de manera vertical, inclusive. Se conoce que material granular como la arena no pueden garantizar la seguridad de los taludes, mientras que los suelos arcillosos pueden soportar el corte en función de la resistencia al esfuerzo cortante del material. (Peck, Hanson, & Thornburn, pág. 205)

El Reglamento de Seguridad y Salud para la Construcción y Obras Públicas publicado en Registro Oficial No. 249 del 10 de Enero de 2008, en su artículo 41.- Excavación, numeral 2 Ángulos de Talud, establece los ángulos máximos para paredes no entibadas, que se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 2. *Ángulos máximos para paredes no entibadas en excavaciones ataludadas*

	Excavaciones en terrenos vírgenes o muy compactos	Excavaciones en terrenos removidos recientemente
Naturaleza del terreno	Secos con presencia de agua	Secos con presencia de agua
Roca dura	80° 80°	
Roca blanda o fisurada	55° 50°	
Restos rocosos pedregosos	45° 45°	45° 40°
Tierra fuerte (mezcla arena, arcilla) mezclada con piedra y tierra vegetal	45° 30°	35° 30°
Tierra arcillosa, arcilla negra	40° 20°	35° 20°
Grava, arena gruesa no arcillosa	35° 30°	35° 20°
Arena fina no arcillosa	30° 20°	30° 20°

Nota. Recuperado del Reglamento de Seguridad y Salud para la Construcción y Obras Públicas. (2008)

Cuando se determine que el suelo admite un corte vertical según sus características de cohesión, se podrá excavar hasta una altura de 60 o de 80cm. Una vez alcanzada esta altura se deberá entibar el terreno. En las siguientes figuras se muestra una excavación o un vaciado ejecutado con corte vertical, para posteriormente ejecutar el sistema de contención.



Figura 21. Ejecución del vaciado con corte vertical y posterior ejecución de muro de sótano. Recuperado de “Las actuaciones en el terreno y la cimentación”, de Amo, P.M.P.D. (2015), p. 107, Madrid.

Cuando se requiera de excavaciones con profundidad superior a 1.20 metros con talud vertical considerando suelos cohesivos, se puede calcular la altura crítica de excavación H_c , que como se indicó anteriormente, corresponde a la máxima altura que se puede excavar en forma vertical sin entibación. Esta altura crítica se calcula mediante la siguiente ecuación, siempre y cuando se mantenga cualquier sobrecarga una distancia (d) del borde de la excavación superior a la profundidad de ella (H_s), como se muestra en la figura 22. (De Solminihac T. & Thenoux Z., 2011)

$$H_c = 1,3 \frac{qu}{\gamma}$$

Donde:

qu = corresponde a la resistencia al corte de una muestra inalterada de suelo en el ensayo de compresión simple (monoaxial), kg/cm^2 ;

γ = corresponde a la densidad natural del terreno, kg/m^3 .

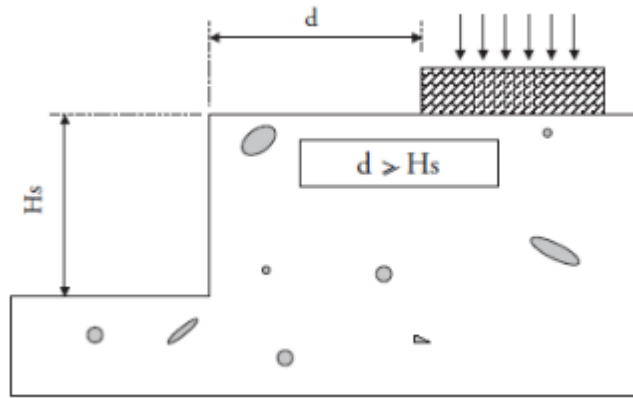


Figura 22. Sobrecargas cercanas a excavaciones (NCh 349). Recuperado de “Procesos y Técnicas de Construcción”, de Solminihac, T.H.D., & Thenoux, Z.G. (2011), p. 276, Chile.

La altura máxima de excavación a la cual se le denomina altura de seguridad H_s se calcula dividiendo la altura crítica H_c por un factor de seguridad F.S. que puede variar entre 1.1 y 2.0.

$$H_s = \frac{H_c}{F.S.}$$

Cuando exista sobrecarga al borde de la excavación, como se muestra en la figura 23, la expresión de la H_c se calculará utilizando la siguiente expresión (la altura de seguridad se calcula utilizando este valor de H_c).

$$H_c = \frac{1.3qu - \sigma}{\gamma}$$

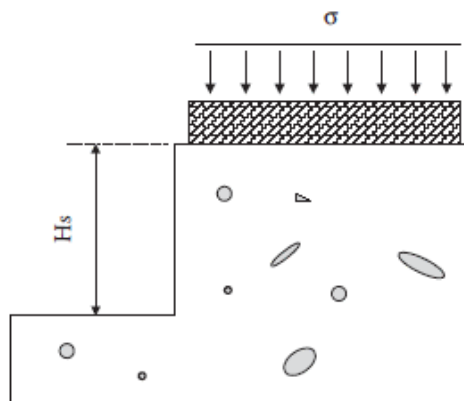


Figura 23. Sobrecarga en el borde de la excavación (NCh 349). Recuperado de “Procesos y Técnicas de Construcción”, de Solminihac, T.H.D., & Thenoux, Z.G. (2011), p. 277, Chile.

Hay factores que pueden afectar la estabilidad de los cortes en arcilla como lo señalan Peck, Hanson y Thornburn, “A menos que un depósito de arcilla contenga o esté sobre capas o lentes de suelos permeables con agua, el agua subterránea no produce dificultades para hacer excavaciones temporales. Por otra parte, la estabilidad de taludes temporales en arcilla, depende no sólo de la resistencia del material y del talud del corte, sino también de la profundidad de la excavación y de la profundidad a que aparezca un estrato firme, si existe no muy lejos, abajo del fondo de la excavación” (s.f.:339). Los autores en su libro Ingeniería de Cimentaciones, muestran una relación entre el ángulo del talud y el factor de estabilidad para establecer la altura máxima a la que pueden excavar taludes en arcillas intactas, saturadas o casi saturadas.

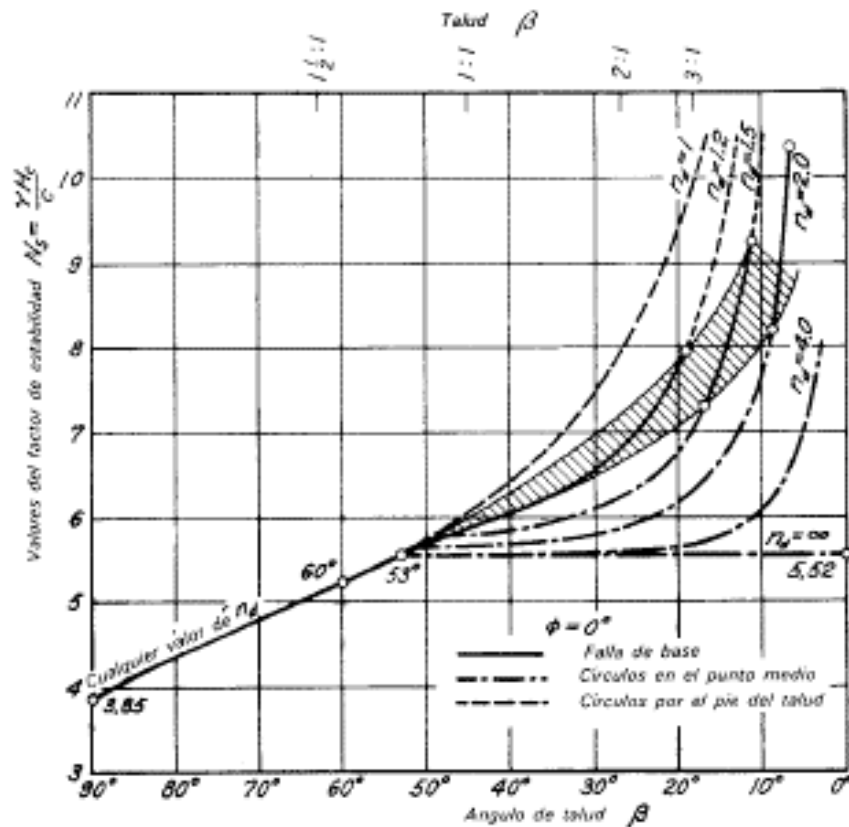


Figura 24. Relación entre el ángulo del talud β y el factor de estabilidad N_s para diferentes valores del factor de profundidad n_d en suelos cohesivos (según Taylor, 1937). Recuperado de “Ingeniería de Cimentaciones”, de Peck, Hanson & Thornburn, p. 341, México.

Para excavaciones en arena según Peck, Hanson y Thornburn, “No se presentan problemas de construcción de consecuencia al hacer excavaciones para las cimentaciones de zapatas o losas en arena arriba del nivel freático. Taludes de 1

vertical a 1 ½ horizontal son estables bajo todas las circunstancias, a menos que el depósito de arena esté sobre un depósito blando de arcilla situado a poca profundidad; y se usan comúnmente taludes más inclinados, si la arena presenta algo de cohesión debido a la humedad capilar o a cementantes” (s.f.: 368).

Sin perjuicio de lo anterior, es recomendable utilizar taludes verticales libres, como ya se ha manifestado anteriormente, en suelos cohesivos o medianamente cohesivos y en excavaciones que permanecerán abiertas en corto tiempo. También hay métodos para proteger las paredes de la excavación mediante recubrimientos con elementos aislantes, como el uso de hormigón proyectado.

3.5.1.2 Excavaciones con Taludes protegidos

Este método se usa en suelos poco cohesivos y poco estables, inclusive para aquellos donde se puedan desprender algún tipo de piedras. Los más comunes en excavaciones provisorias son el hormigón proyectado y mallas metálicas.

- a) **Hormigón Proyectado.** Se utiliza para mitigar el desprendimiento de piedras pequeñas, pérdida de humedad y falta de cohesión de los taludes, como se muestra en la figura 25.



Figura 25. Talud protegido con hormigón proyectado. Recuperado de “Procesos y Técnicas de Construcción”, de Solminihaç, T.H.D., & Thenoux, Z.G. (2011), p. 279, Chile.

- b) **Mallas metálicas.** Se utilizan únicamente para controlar el desprendimiento de piedras y bolones, mitigando los riesgos de impacto. No son utilizadas para dar estabilidad a un talud.



Figura 26. Malla de triple torsión reforzada. Recuperado de <http://www.inaces.com/servicios/taludes/mallas-metalicas-triple-torsion/>

3.5.2 Entibamiento y apuntalamiento

Corresponden a profundidades no mayor de 4 metros. El entibamiento es mediante tablonces verticales que se hincan en el perímetro de la excavación y a una longitud cercana a la profundidad de la excavación. Se utilizan unas vigas horizontales llamadas largueros para mantener los tablonces, y éstas a su vez están soportadas por puntales horizontales que se extienden de extremo a extremo de la excavación. Los puntales por lo general son de madera, dependerá del ancho de la excavación, puesto que si es superior a 1.5 metros se utilizan tubos metálicos. Si la excavación es demasiado ancha para usar estos puntales de lado a lado, los largueros pueden apoyarse en puntales inclinados llamados rastrillos o rastras soportados en el suelo que deberá tener la firmeza suficiente. (Peck, Hanson, & Thornburn, pág. 206). En la siguiente figura se muestran las dos formas típicas para el apuntalamiento a poca profundidad como lo señalan Peck, Hanson y Thornburn.

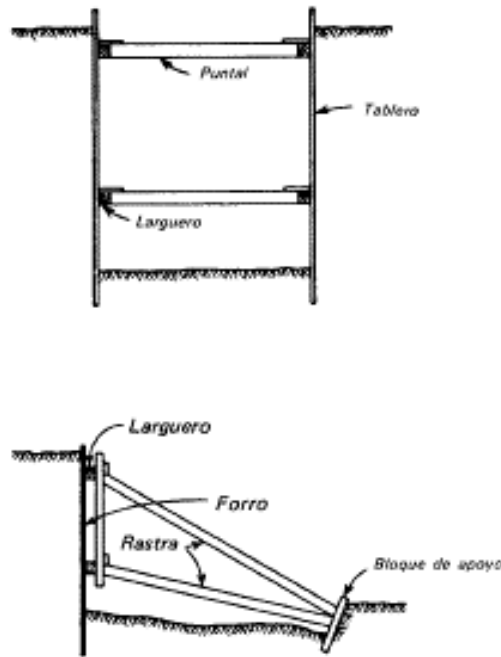


Figura 27. Métodos comunes para apuntalar los frentes de las excavaciones poco profundas. Recuperado de “Ingeniería de Cimentaciones”, de Peck, Hanson & Thornburn, p. 206, México.

3.5.3 Tablestacas

Corresponden a profundidades mayores a 6 metros, donde el uso de forros de madera no resulta eficiente, desde el punto de vista económico, y se utilizan tablestacas de acero que se hincan en el perímetro de la excavación, a medida que se extrae la tierra se van insertando largueros y puntales. Como lo señala Víctor Yepes, “Las tablestacas son elementos prefabricados alargados, de sección transversal constante y de poco espesor, que se hincan en el terreno mediante vibración o golpeo cada una en contacto con la contigua para formar pantallas continuas de impermeabilización o de sostenimiento... Dichos elementos acoplan unos con otros por deslizamiento a lo largo de las juntas, que pueden ser por solape o machihembradas” (2016:143).



Figura 28. Tablestacas metálicas. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 143, España.

Constituyen una estructura de contención flexible, definitiva o temporal, puesto que son recuperables siempre y cuando las condiciones del sitio así lo permitan de tal manera que son elementos reutilizables. En algunas ocasiones estas estructuras quedan enterradas junto con la cimentación o depende de su objetivo suelen formar parte de obras definitivas, por ejemplo en muros y estribos de pasos inferiores en carreteras u obras urbanas en las que la tablestaca queda vista.



Figura 29. Muelle de Blankenberg, Bélgica, formado por tablestacas metálicas. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 147, España.

3.5.3.1 Métodos de Instalación

Las tablestacas en recintos o en pantallas pueden colocarse en obra empotradas simplemente en el terreno o reforzadas por codales, puntales o anclajes horizontales o inclinados que ayuden a absorber los esfuerzos previstos. (Yepes Piqueras, 2016)

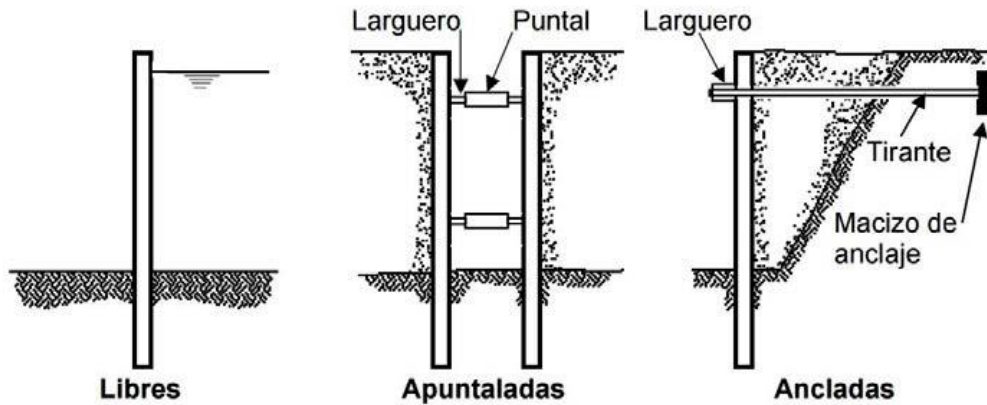


Figura 30. Sistemas de tablestacas según su sostenimiento frente a los empujes. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 148, España.

- a) Tablestacas Autoportantes (Libres). Constituyen un sistema de contención del terreno que no precisa de elementos adicionales para el sostenimiento. Estos elementos trabajan en ménsula, siendo una solución sencilla que trabaja por empotramiento en el terreno. Se utilizan si la altura libre no supera los 5 metros (Yepes Piqueras, 2016). Su instalación es sencilla ya que no necesita de arriostramientos ni apuntalamientos intermedios, una vez hincadas el área queda libre para realizar los trabajos de excavación que se requiera, su única restricción es la profundidad de la excavación.



Figura 31. Pantallas de tablestacas autoportantes. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 149, España.

- b) Tablestacas arriostradas con anclajes al terreno. Aplicable para excavación profunda donde se requiere el área a excavar libre de obstáculos. Las pantallas de las tablestacas se arriostran mediante anclajes al terreno, con la finalidad de limitar sus deformaciones. Se utiliza en excavaciones donde se requiere proteger construcciones cercanas. (Yepes Piqueras, 2016).

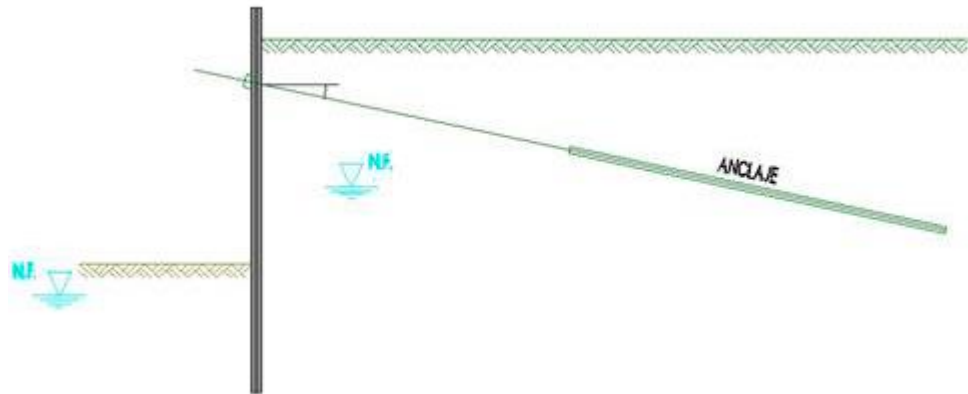


Figura 32. Tablestaca arriostrada con anclaje al terreno. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 149, España.



Figura 33. Pantalla arriostrada al terreno. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 149, España.

- c) Tablestacas arriostradas con puntales. Las pantallas de tablestacas pueden arriostrarse con perfilera metálica para alcanzar mayores profundidades de excavación limitando las deformaciones. Este sistema se lo realiza mediante vigas o codales metálicos o mediante una estructura de perfiles con las uniones soldadas en el emplazamiento definitivo. (Yepes Piqueras, 2016)



Figura 34. Pantallas de tablestacas arriostradas con perfilera metálica. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 151, España.

- d) Tablestacas arriostradas con tirantes. Este sistema también es utilizado para contar con un área libre de obstáculo durante la excavación, y no utilizar perfiles o codales. Se lo realiza mediante tirantes formados por barras de acero macizas conectados con unas tablestacas traseras que limitan las deformaciones en las pantallas, siendo todos los elementos utilizados recuperables. La única restricción es el espacio en obra para colocar la pantalla de tablestaca trasera a la principal de forma que sea capaz de transmitir al terreno la reacción en el arriostramiento, al estar ambas pantallas conectadas por dichos tirantes (Yepes Piqueras, 2016). Las siguientes figuras muestran detalles del arriostramiento a un anclaje.



Figura 35. Tablestaca arriostrada. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 152, España.

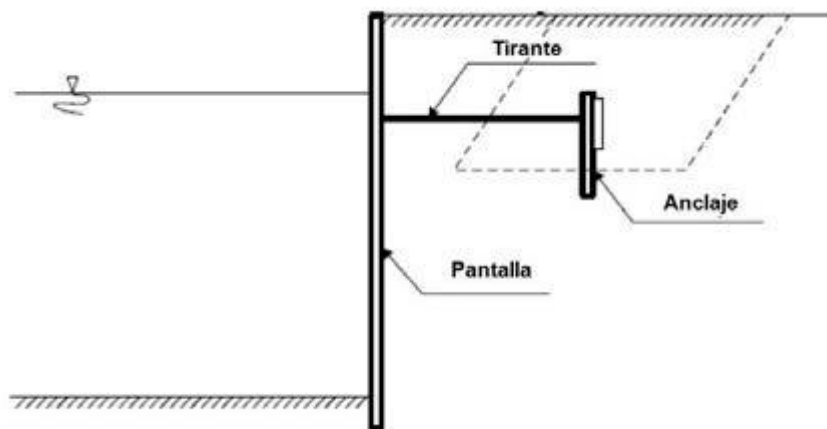


Figura 36. Tablestaca anclada. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 152, España.

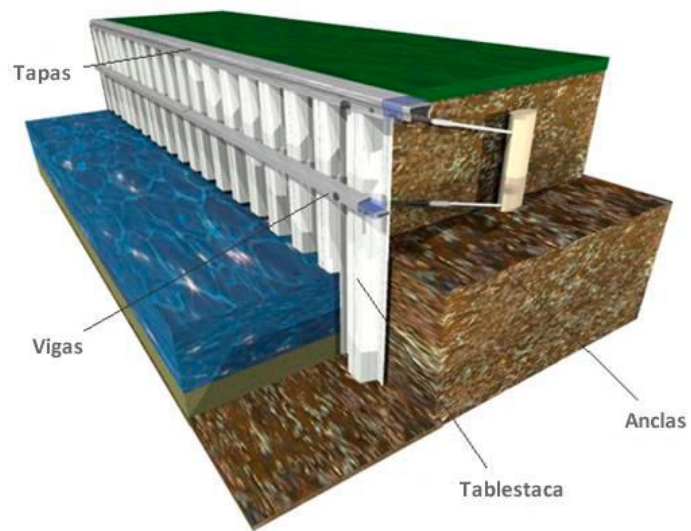


Figura 37. Arriostamiento y anclaje de pantalla de tablestacas. Recuperado de “Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención”, de Yepes, V.P., p. 153, España.

Capítulo 4 ANÁLISIS EN OBRA

Para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se realizaron excavaciones a cielo abierto. En el Pozo de Bombeo el área de la excavación fue simétrica siguiendo las dimensiones de su implantación pero con una profundidad superior a 6 metros, correspondiente a un tipo de excavación para pozo, como se lo analizó en el capítulo 3.4.3.4. En la Planta de Tratamiento fue una excavación amplia superior a 3 metros, cubriendo una superficie similar a las dimensiones de la implantación de la estructura, correspondiente a lo presentado en el capítulo 3.4.3.3. Ambas excavaciones fueron ejecutadas aplicando sistemas de protección para evitar accidentes durante la construcción y cuidar el bienestar de los obreros. Para el pozo de bombeo debido a su profundidad mayor a 6 metros se realizó un Tablestacado, mientras que para la Planta de Tratamiento considerando el tipo de suelos y la poca profundidad requerida para excavar se conformaron Taludes Libres. Se analizarán estos sistemas implementados evaluando sus rendimientos y costos de ejecución, para determinar su impacto tanto en los plazos programados como en el presupuesto contractual.

4.1. Sistema de Protección 1 de Tablestacado para pozo de bombeo

4.1.1 Trazado y Replanteo

Se realizó el trazado para la ubicación del pozo conforme las dimensiones del plano, esto es, 1.50m x 1.50m (medidas interiores) x 6.89m de profundidad, considerando el espesor de 0.25m para los muros estructurales y 1.00m de sobreancho para cada lado que se requiere dejar en la excavación para poder realizar los trabajos de armado y fundición, como se muestra en la figura 38, resultó un perímetro total de 16 metros.

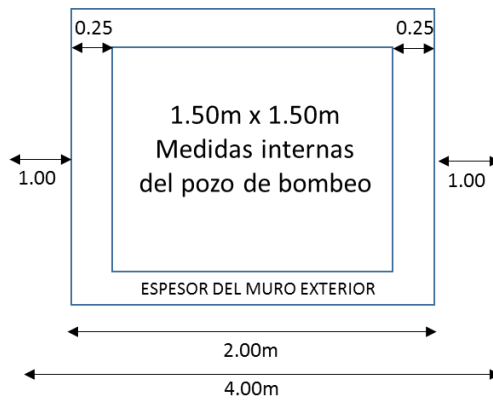


Figura 38. Esquema de excavación para el pozo de bombeo. Las medidas interiores son 1.50m x 1.50m, el espesor del muro es de 0.25m y se considera 1m en cada lado de sobreelección desde la cara exterior del muro, resultando una excavación en total de 4m de cada lado.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Equipo y Maquinaria utilizada

La máquina utilizada es un martinete de cabrestante donde la acción de la hinca se realiza a través de un martillo o mazo que es un gran bloque de hierro o acero, que se levanta por la acción de un cabrestante y se deja caer en caída libre. Esta máquina se moviliza con unos tubos, y éstos la hacen rodar hacia adelante y lateralmente, dentro de los tubos existen unos orificios y se coloca una palanca y la mueven hacia adelante o hacia atrás, a la izquierda o derecha. La maza se suspende de un cable y desliza por unas guías.



Figura 39. Martinete de Cabrestante para hincar tablestacas. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).

Se utilizó un suplex que es un elemento adicional al martillo, como se muestra en la figura 40, para poder dejar la tablestaca a cota -1.50m del terreno natural.



Figura 40. Hincado de la tablestaca con el suplex implementado en el martillo de la máquina. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).

4.1.3 Procedimiento de Trabajo

1. Se realizó una excavación de 1.50m de profundidad (ver fotografía) a criterio del residente, para dejar espacio de maniobra al brazo de la excavadora, hincando la tablestaca a cota -1.50m del terreno natural.



Figura 41. Excavación de 1.50m de profundidad previo al hincado de las tablestacas. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).



Figura 42. Maniobra del brazo de la excavadora. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).

2. Se traslada la plancha a través de un cable que se engancha a la Torre. Se la eleva y la posicionan en el lugar que tienen que hincar, para iniciar con el hincado de la plancha.



Figura 43. Posicionamiento de la Tablestaca en el sitio de la hinca. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).

3. Concluida la hincada del tablestacado se realiza una primera excavación de dos metros aproximadamente, para colocar los largueros y puntales, que son unas vigas en forma de anillos con unas diagonales en las esquinas (ver fotografía), para dar mayor seguridad a las tablestacas para el empuje de la tierra.



Figura 44. Anillos colocados en el tablestacado para dar mayor seguridad para el empuje lateral de la tierra. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).

4. Se continúa con la excavación para instalar un segundo juego de vigas y diagonales, para proceder con la excavación final hasta llegar al nivel del pozo, y luego una excavación manual para realizar el mejoramiento de 80cm establecido en los diseños. Posteriormente, se realizó el trabajo de fundición de replantillo, losa de cimentación, encofrado y apuntalamiento para fundir los muros.



Figura 45. Anillos colocados en el tablestacado para dar mayor seguridad para el empuje lateral de la tierra. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).

5. El trabajo concluyó con la sacada de la tablestaca mediante una grúa, que en este proyecto se las pudo recuperar en su totalidad debido a que no existió impedimento en sus alrededores.



Figura 46. Sacada de la tablestaca mediante una grúa. Elaboración Propia.

4.1.4 Rendimientos del hincado

Se presenta de acuerdo al proceso constructivo detallado en párrafos anteriores. Las actividades fueron monitoreadas durante la jornada de un día de hincado. Durante este monitoreo se registró un rendimiento máximo de colocación de cinco (5) tablestacas por día, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Registro del rendimiento diario de la hinca de tablestacado.

Actividad	Rendimiento Diario por Tablestacas														
	1			2			3			4			5		
	Hora Inicio	Hora Fin	Total	Hora Inicio	Hora Fin	Total	Hora Inicio	Hora Fin	Total	Hora Inicio	Hora Fin	Total	Hora Inicio	Hora Fin	Total
Traslado de la plancha	9:11	9:30	0:19	10:02	10:09	0:07	10:35	10:41	0:06	11:03	11:10	0:07	14:26	14:34	0:08
Instalación de la plancha	9:31	9:34	0:03	10:09	10:11	0:02	10:41	10:43	0:02	11:11	11:14	0:03	14:37	14:39	0:02
Hincada de la plancha	9:41	9:52	0:11	10:17	10:22	0:05	10:44	10:51	0:07	11:18	11:24	0:06	14:39	14:42	0:03
Instalación del suplex	9:53	9:56	0:03	10:22	10:24	0:02	10:51	10:55	0:04	11:25	11:27	0:02	14:42	14:44	0:02
Rehincada	9:56	9:57	0:01	10:24	10:26	0:02	10:55	10:58	0:03	11:27	11:30	0:03	14:44	14:48	0:04
			0:37			0:18			0:22			0:21			0:19

Nota. La columna “Total” refleja los minutos de duración de cada actividad.

Con el registro levantado en sitio, se reflejó un promedio de hincado de una tablestaca en 23 minutos, lo que significaría que para una jornada de trabajo de ocho horas, el rendimiento debió ser de al menos dieciséis (16) unidades de tablestacas. Sin embargo, el trabajo de manejar y maniobrar equipos pesados, requerían de descansos intermedios por parte de los obreros. Del muestreo realizado, la jornada inició pasadas las 09h00 y de manera continua trabajaron hasta las 11h30, tiempo en el cual suspendieron los trabajos para dejar el sitio ordenado y esperar la hora del almuerzo a las 12h30, retomando las actividades a las 14h30, para suspenderlas nuevamente un poco antes de las 15h00, para dejar el sitio ordenado y prepararse para la hora de salida. Por tal razón, el rendimiento real de hinca es entre cuatro (4) a cinco (5) tablestacas como máximo. El trabajo total del hincado se lo realizó en seis (6) días. Las tablestacas que se utilizaron son de nueve (9) metros de longitud x 0.60m de ancho, para los 16 metros lineales que fue el perímetro de excavación, se utilizaron un total de veintisiete (27) unidades de tablestacas.

4.1.5 Análisis económico del tablestacado

El subcontratista a cargo de los trabajos de tablestacados, cotizó el rubro por metro lineal. El perímetro de excavación del pozo de bombeo de acuerdo a lo estipulado fue

de 16 metros. Se pudo tener acceso a información relacionada a la planilla de liquidación del proveedor por las cantidades realmente ejecutadas, por un valor total de US \$14,820.00, valor al que se consideró los costos indirectos del contrato de la compañía constructora con el Cliente, para conocer el valor final por estos trabajos, cuyo resumen se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Planilla de liquidación económica del contrato de alquiler, hincada, extracción y apuntalamiento de tablestacado.

Descripción del Trabajo	Unidad	Cant.	P. Unit.	P. Total
Alquiler de Tablestaca de Hierro 9m x 0.60m x 0.010m	Ml	16	\$200	\$6,400
Hincada y Extracción de Tablestacas de Hierro 9m x 0.60m x x0.010m	Ml	16	\$320	\$5,120
Logística de la Tablestaca	Gb	1	\$900	\$900
Apuntalamiento de tablestacado con tubería de hierro y mano de obra	Gb	1	\$2,400	\$2,400
TOTAL SIN IVA				\$14,820
INDIRECTOS 10%				\$1,482
TOTAL DEL RUBRO SIN IVA				\$16,302

Con el propósito de contar con un costo por ml de hinca del total ejecutado para el área del pozo, que fue el único trabajo realizado con tablestaca en la obra, para posterior evaluación económica del presente trabajo de tutoría, se divide el costo total para los metros lineales del área hincada y resulta en \$1,018.88 ($\$16,302 / 16\text{ml}$).

4.2. Sistema de Protección 2 de Talud para la planta de tratamiento

4.2.1 Trazado y Replanteo

Se realizó el trazado para la ubicación de la planta de tratamiento considerando las dimensiones del plano, esto es, 10.70m x 4.50m (medidas interiores), más el espesor de 0.25m del muro exterior y además los sobrecanchos de 1 metro que se requieren para la excavación para poder realizar los trabajos de armado y fundición, como se muestra en la figura 47.

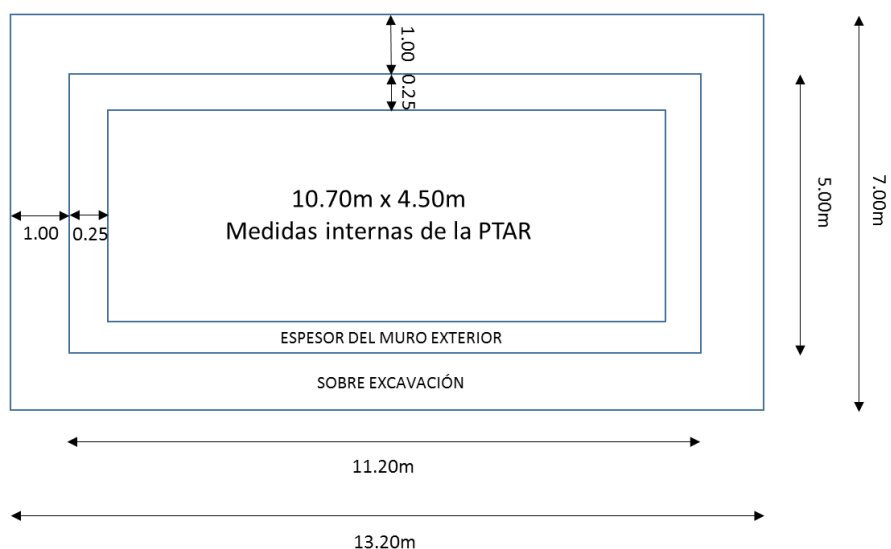


Figura 47. Esquema de excavación para Planta de Tratamiento. Las medidas interiores son 10.70m x 4.50m, el espesor del muro es de 0.25m y se considera 1m en cada lado de sobreancho desde la cara exterior del muro, resultando una excavación en total de 13.20m x 7.00m.

Fuente: Elaboración propia



Figura 48. Trazado y Excavación de la PTAR. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).

4.2.2 Equipo y Maquinaria utilizada

Las actividades de extracción de tierra y carga en vehículo de transporte se realizó en una misma tarea utilizando una retroexcavadora marca DOOSAN modelos DX225LC-5, cuyo cucharón tiene una capacidad entre 0.45 a 1.49m³, junto con una volqueta de 9m³.



Figura 49. Retroexcavadora marca DOOSAN modelos DX225LC-5. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).

4.2.3 Procedimiento de Trabajo

1. *Revisión de los planos estructurales.* La planta de tratamiento tiene una implantación rectangular con varios compartimentos con una distancia al pozo de bombeo de 2.50m. Conforme a los planos, que se muestra en la siguiente figura, tiene una altura de 3.50m más 0.25m del espesor de la losa, más 0.05m de replantillo más un mejoramiento de 0.80m, en total 4.10m. Según versiones del Residente de Obra, si esta estructura hubiese sido enterrada en su totalidad, sí hubiera utilizado tablestacado, pero los planos muestran que la planta es semienterrada, es decir, que únicamente 2.00m de la planta va enterrada, más los elementos de cimentación antes indicados, en realidad se requería de una excavación desde el terreno natural de 3.10m, el resto de la estructura es vista, es decir, está sobre el nivel del terreno natural.

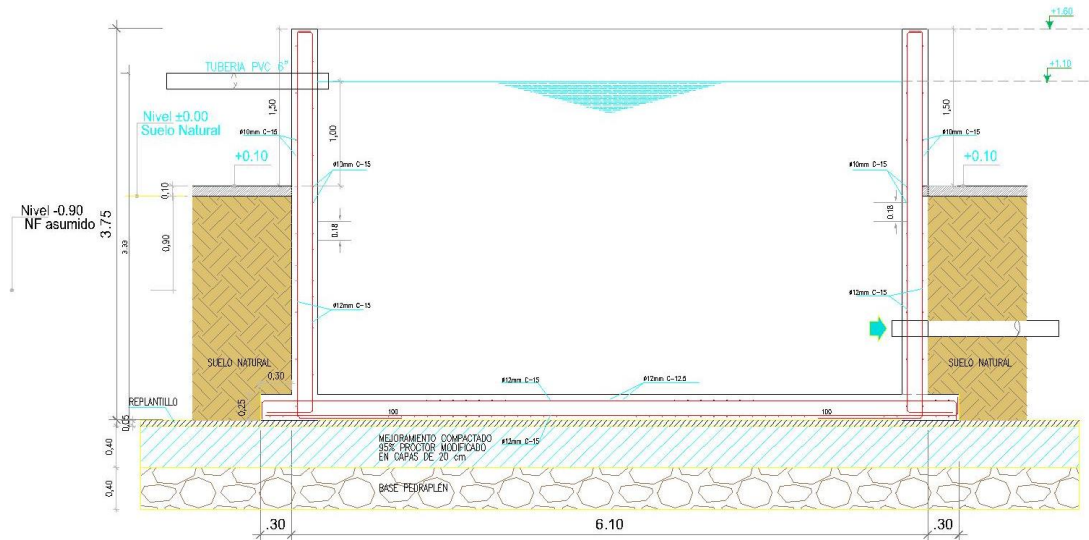


Figura 50. Corte de la planta del sistema de tratamiento de aguas residuales, en el que se aprecia que es una estructura semienterrada.

Fuente: Plano Estructural s/n elaborado por el diseñador contratado por la compañía constructora

2. *Revisión del Estudio de Suelos.* El estudio de suelos realizado por el Cliente, contiene el informe de resultado de ensayos de laboratorio de dos perforaciones en el sitio de implantación de la PTAR, cuyas ubicaciones se muestran en la siguiente figura, denominados P#3 y P#4, cuyo perfil estratigráfico dentro de los primeros cuatro metros de profundidad se describen en las Tablas 5 y 6.

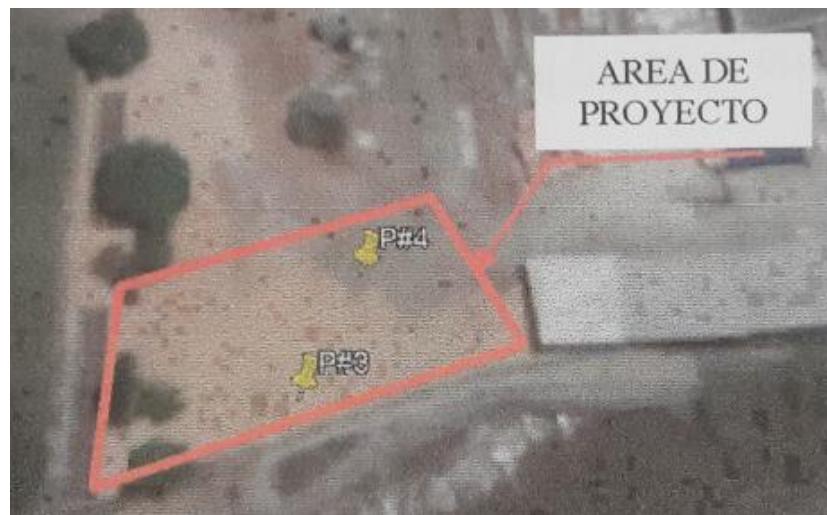


Figura 51. Ubicación de las perforaciones realizadas en el área donde se proyectó la construcción de la PTAR. Recuperado del Estudio de Suelo e Informe Técnico del Proyecto elaborado en Noviembre, 2018

Tabla 5. Resultados obtenidos de la Perforación # 3 realizada en sitio de la PTAR.

Profundidad (metros)	Descripción del material
0.00 - 0.50	(GC) Relleno: grava, color café algo rojiza, finos arcillo limosos, medianamente plásticos, compacidad relativa suelta.
0.50 - 1.50	(GP-GC) Relleno: grava con arena, color café algo gris, pocos finos arcillo limosos medianamente plásticos, compacidad relativa suelta.
1.50 - 2.50	(CH) Arcilla color café, con pintas de arena y de materia orgánica. Plástica, consistencia medianamente compacta.
2.50 – 3.50	(CH) Arcilla color café algo amarilla, con pintas de arena y de materia orgánica, plástica, consistencia blanda.

Nota. El nivel freático se lo identificó a los 2.60m de profundidad.

Tabla 6. Resultados obtenidos de la Perforación No. 4 realizada en sitio de la PTAR.

Profundidad (metros)	Descripción del material
0.00 - 0.50	(GC) Relleno: grava, color café algo rojiza, finos arcillo limosos, plásticos, compacidad relativa medianamente densa.
0.50 - 1.50	(CH) Arcilla color café, con pintas de arena, plástica, consistencia compacta.
1.50 – 2.00	(CH) Arcilla color café, con pintas de arena y de materia orgánica, plástica, consistencia medianamente compacta.
2.00 – 3.50	(CH) Arcilla color café algo amarilla, con pintas de arena y de materia orgánica, plástica, consistencia blanda.

Nota. El nivel freático se lo identificó a los 2.60m de profundidad.

Los criterios implementados por el Residente para definir cómo podría trabajar, fue la altura real de excavación a realizar, que como se indicó anteriormente, la estructura era semienterrada por lo que tenía que excavar únicamente 3.10 metros de profundidad, y el trabajo de obra civil (armado y encofrado) lo debía realizar a 2.25m del terreno natural, puesto que el resto de la excavación correspondía a un trabajo de mejoramiento y replantillo aplicando lo indicado en el diseño estructural. La otra variable fue el estudio de suelos que muestra que después del relleno existente de 0.50m de espesor se encontraba una arcilla que consideró que es un material resistente para realizar una excavación sin la protección de un tablestacado.

3. *Conformación del Talud.* Para la conformación del talud, el Residente de Obra determinó conformar un talud de aproximadamente un ángulo de 40°-45° que

lo realizó con la cuchara de la retroexcavadora, con una pared vertical de aproximadamente 1 metro, conforme se muestra en la figura 52. El corte vertical y el talud no se desmoronaron y se trabajó mucho más rápido que el tablestacado. Considerando la distancia entre el pozo de bombeo y la planta de tratamiento de 2.50 metros, y, al estar tablestacado el área de bombeo, la Gerencia dispuso dividir la excavación en dos partes, para no debilitar este sector. Adicionalmente, en el sector del tablestacado se bajó 1 metro para quitarle peso, como se muestra en la figura 53.



Figura 52. Conformación del talud en la excavación de la PTAR. Elaboración Propia.



Figura 53. Área de excavación junto al tablestacado del pozo de bombeo. Por C. Fajardo. (Durán, 2019).



Figura 54. Conformación del talud en la excavación de la PTAR. Elaboración Propia.

4. Una vez que realizaron los trabajos de mejoramiento en el primer sector excavado de la PTAR, el Residente solicitó autorización a la Gerencia para poder excavar lo que faltaba cerca del sector del pozo de bombeo, una vez aceptado procedieron a concluir con la excavación.



Figura 55. Segunda parte de la excavación de la PTAR. Elaboración Propia.



Figura 56. Segunda parte de la excavación de la PTAR. Elaboración Propia.

4.2.4 Rendimientos obtenidos de la conformación del talud

Como proceso constructivo, y conforme a los datos del control topográfico final de las excavaciones y taludes, se dividieron en ocho sectores donde se conformó un talud más la rampa que el Residente decidió realizar para facilidad de acceso de la maquinaria para ingresar el material de relleno. En total se calcularon ocho zonas de taludes, como se muestra en los gráficos siguientes, así como el total de volúmenes para cada zona.

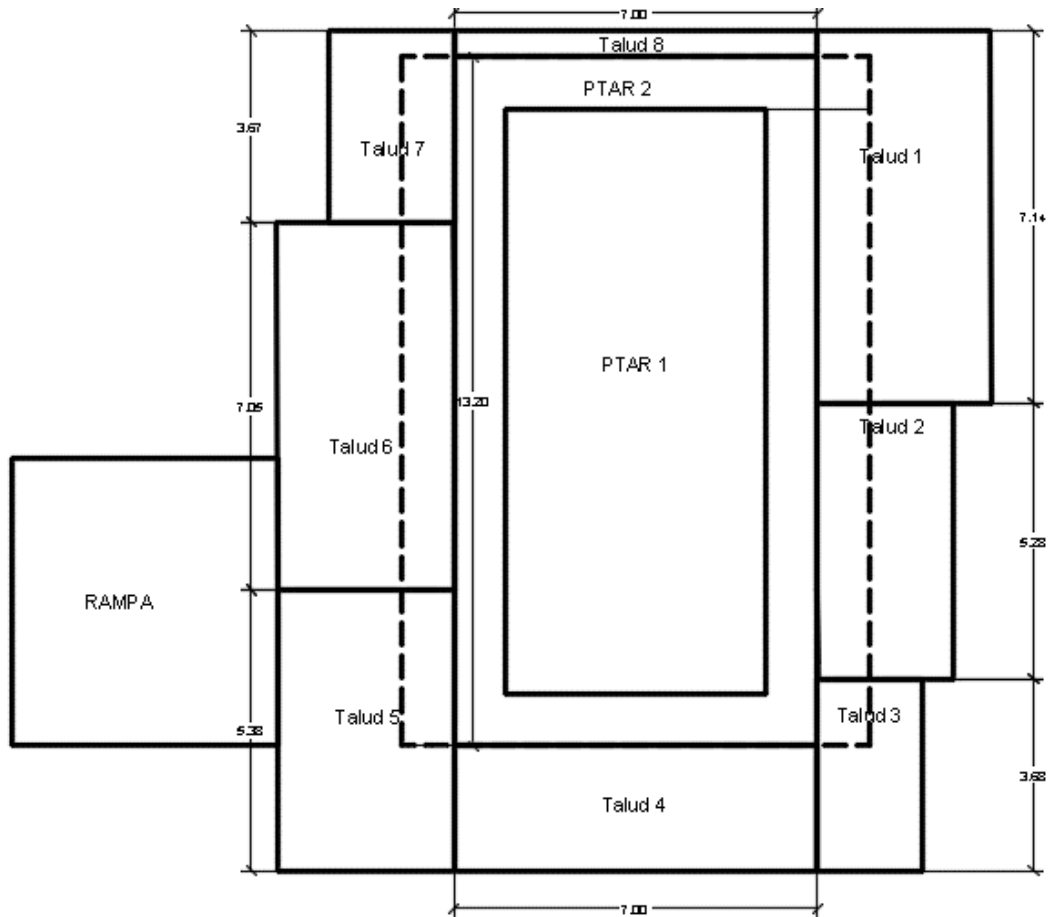


Figura 57. Sectorización de las áreas de los taludes para posterior cálculo de volúmenes. Obtenido de las planillas de avance de obra elaborado por el Residente.

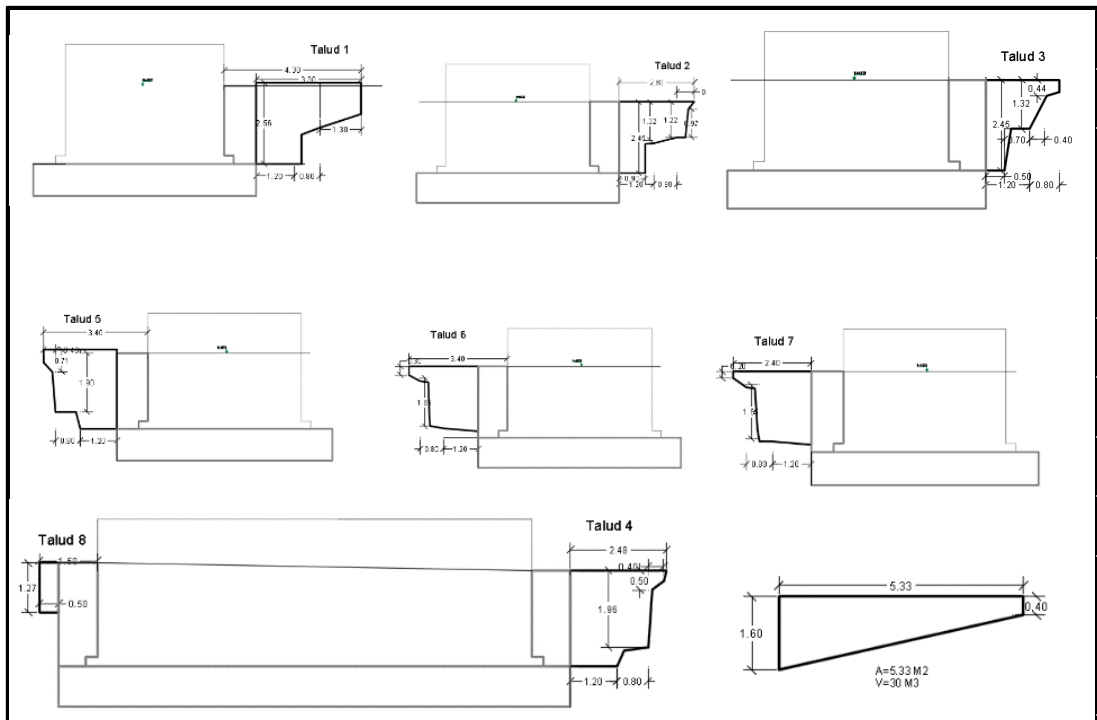


Figura 58. Secciones Transversales de cada talud con dimensionamientos para posterior cálculo de volúmenes. Obtenido de las planillas de avance de obra elaborado por el Residente.

Tabla 7. Volúmenes registrados de la excavación realizada para conformación del talud.

Zona	Área	Longitud	Volumen
Talud 1	6.10m ²	7.14m	43.55m ³
Talud 2	4.15m ²	5.28m	21.91m ³
Talud 3	2.80m ²	3.68m	10.30m ³
Talud 4	5.00m ²	7.00m	35.00m ³
Talud 5	5.00m ²	5.38m	26.90m ³
Talud 6	4.00m ²	7.05m	28.20m ³
Talud 7	4.00m ²	3.67m	14.68m ³
Talud 8	0.60m ²	7.00m	4.20m ³
Rampa	5.33m ²	5.63m	30.00m ³
Total del Volumen Excavado			214.74m³

A este volumen total excavado, el Residente aplicó un 40% de esponjamiento, para obtener el volumen total desalojado que resultó en 300.64m³. Se realizó el monitoreo de un día de excavación, registrando un rendimiento de máximo once viajes por día, conforme se muestra en la Tabla 8. Cada volqueta tenía una capacidad de aproximadamente 9m³, es decir, que el día de muestreo se excavó aproximadamente 100m³, lo que significa que el trabajo total por la conformación del talud se lo realizó en dos días y medio.

Tabla 8. Rendimiento Diario de Extracción de Tierra y Carga en Volqueta.

Viajes	Horario	Duración (minutos)	# Cucharas
1er Viaje	09:28 – 09:32	4	12
2do Viaje	09:40 – 09:45	5	12
3er Viaje	09:54 – 09:57	3	11
4to Viaje	10:01 – 10:05	4	12
5to Viaje	10:18 – 10:30	12	14
6to Viaje	10:32 – 10:37	5	11
7mo Viaje	10:46 – 10:51	5	11
8vo Viaje	11:13 – 11:26	13	14
9no Viaje	13:16 – 13:20	4	12
10mo Viaje	14:48 – 14:52	4	11
11vo Viaje	16:12 – 16:17	5	11

Para los trabajos de relleno en el área que se conformó el talud, el Residente consideró un coeficiente del 25% de asentamiento al volumen neto excavado, teniendo una cantidad final de 268.44m³.

4.2.5 Análisis económico del trabajo realizado en la conformación del talud

Se tuvo acceso al presupuesto de la obra civil de la PTAR, y aplicando los rubros del contrato, el valor total por la ejecución de los trabajos de conformación de talud y posterior relleno, resultó en un valor total de US \$7,113.28, cuyo resumen se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Presupuesto del trabajo excavación y relleno de taludes.

Rubro	Descripción del Trabajo	Unidad	Cantidad	P. Unit.	P. Total
OC.1.004	Excavación y desalojo	M3	300.64	\$8.00	\$2,405.12
OC.1.006	Relleno y compactación con material importado	M3	268.44	\$15.13	\$4,061.50
	TOTAL SIN IVA				\$6,466.62
	INDIRECTOS 10%				\$646.66
	TOTAL DEL RUBRO SIN IVA				\$7,113.28

4.3. Resumen Comparativo entre ambos sistemas constructivos para el área de la PTAR

Como objetivo de este proyecto de titulación es la comparación entre los tiempos y costos de los sistemas constructivos analizados, hincado de tablestacas y conformación de taludes, por lo que, considerando el rendimiento obtenido del hincado de tablestaca en el pozo de bombeo y sus costos, se realiza una evaluación de este escenario para el área de la PTAR. Se conoce que el perímetro de excavación de la PTAR es de 40.40ml (13.20m x 7.00m.) por el costo por ml que resultó de la hincada de tablestacas en \$1,018.88, daría un valor total de US \$41,162.75. Es necesario resaltar que el costo unitario antes indicado considera una tablestaca de 9 metros de longitud. Comercialmente, la longitud de una tablestaca es de 6 metros de longitud, por lo que, seguramente este valor resultaría un poco menos.

En cuanto a los plazos se obtuvo un rendimiento de cinco tablestacas diarias. Las tablestacas tienen 0.60m de ancho, para el perímetro total que se requiere para la excavación de la PTAR 40.40ml, se necesitarían aproximadamente 67 unidades de tablestacas, esto tomaría un plazo de hinca de aproximadamente 13.5 días. Se tuvo acceso a la programación de obra presentada en la oferta de construcción considerando

para los trabajos de “**OBRA CIVIL PTAR**” la utilización del sistema de tablestacado para la excavación, las barras grises en la programación representan la “línea base” que corresponde a lo originalmente planteado, sobre esta programación se incorporó las fechas reales de ejecución autoprogramando las actividades, reflejadas mediante las barras de color celeste, y de las cuales se puede observar que se consiguió una optimización en los tiempos adelantando los trabajos siguientes a la excavación. En la Tabla 10 se muestra un resumen comparativo de los resultados obtenidos de ambos sistemas constructivos.

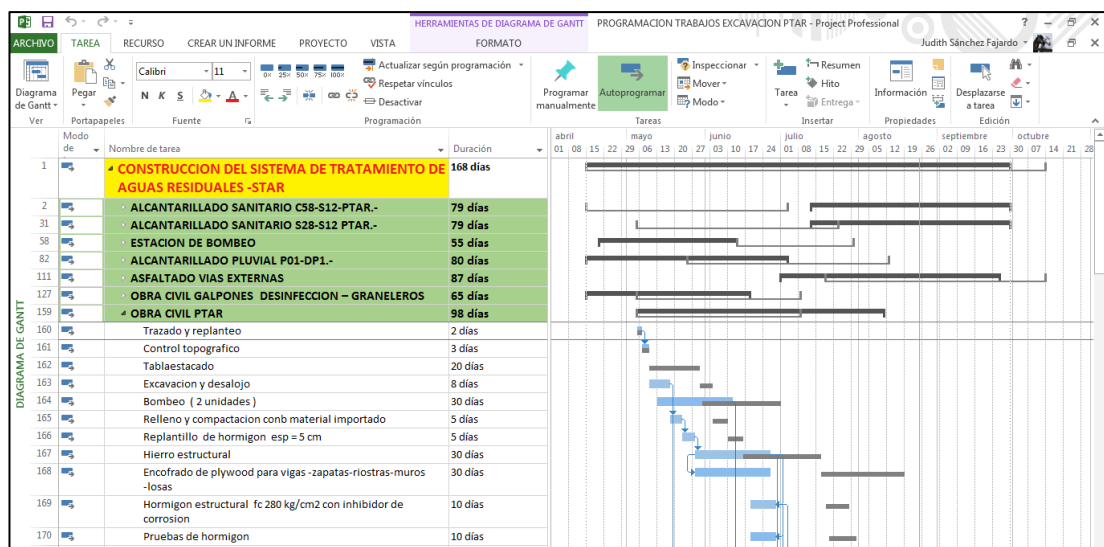


Figura 59. Programación de los trabajos de obra civil de la PTAR con tiempos reales de ejecución.
Elaboración Propia.

Tabla 10. Tabla Resumen de Sistemas Constructivos para el área de la PTAR.

Sistema Constructivo	Tiempo (días)	Costos
Tablestacado	13.5	\$41,162.75
Conformación de Talud	2.5	\$7,113.28
Variación en Unidades	11	\$34,049.47
% de Variación	81%	83%

Capítulo 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Como se mostró en el Resumen Comparativo, el trabajo de conformación de talud presenta menores costos y tiempos de ejecución. Si bien es cierto, ambos sistemas constructivos de Conformación de Taludes y Tablestacado, técnicamente son viables para un trabajo de excavación cuya profundidad es mayor a 2 metros, sin embargo, lo que se buscó en el presente trabajo de titulación es mostrar herramientas para que los profesionales involucrados en la elaboración de un presupuesto de obra desarrollen una ingeniería de valor, revisando toda la documentación técnica del proyecto a cotizar y tengan conocimientos básicos de lo que se muestra en un estudio de suelos para que con base y criterio analítico sean capaces de solicitar revisiones al personal técnico y elaborar un presupuesto eficiente desde el punto de vista económico y de plazos, prevaleciendo siempre la seguridad en obra.
- De la revisión del estudio de suelos realizado en el sitio del proyecto, éste, conforme a la NEC, estuvo incompleto ya que no contempló un capítulo de recomendaciones para las excavaciones que ahora la NEC lo exige, ya que el ingeniero geotécnico no es un simple laboratorista sino que debe saber de estructuras y comportamiento de suelos y ser responsable por sus diseños. Sin embargo, ante esta omisión, hay parámetros en el informe de resultado de ensayos de laboratorio, como es el tipo de suelo, que permitieron al Residente de Obra determinar el sistema más óptimo para la excavación de la PTAR.
- La presencia del agua tuvo un papel importante en esta decisión. El nivel freático se encontraba a 2.60 metros de profundidad, al realizar la excavación de 3.10 metros, se tuvo que bombear el agua para poder rellenar y compactar los 80 centímetros de material de mejoramiento, realizado este trabajo ya no hubo presencia de agua. La ventaja de las arcillas es que tienen poca permeabilidad, sin embargo, el trabajo tiene que ser rápido, en este caso, la excavación para la conformación del talud tuvo una duración de 2 días y medio, y enseguida realizaron los trabajos de mejoramiento con un espesor de 80 centímetros.

- Las arcillas por su plasticidad se pueden realizar cortes verticales pero si la excavación permanece mucho tiempo puede haber fisuras y empezar a fallar porque perdería el efecto de tensión capilar debido a que el agua se seca, la arcilla se endurece y se agrieta, porque ya no tiene agua.
- Otra ventaja al excavar únicamente hasta 3.10 metros fue que a esa profundidad la arcilla no contenía capas de arena, si hubiera tenido arena, como no tiene confinamiento, seguramente el talud hubiera presentado fallas.
- En el capítulo 3 se mostró una ecuación para establecer la altura crítica que puede tener una excavación en suelos cohesivos, que aplicándola en nuestro caso con los resultados de la Perforación No. 3 realizada en el sitio del proyecto, tendríamos:

$$H_c = 1,3 \frac{q_u}{\gamma} \quad H_c = 1.3 \frac{0.48}{1591} \quad H_c = 3.922m$$

Donde,

q_u = corresponde al estrato por debajo de los 3 metros que es el que va a resistir el peso de la pared vertical, que tiene una resistencia de 0.48Kg/cm².

γ = corresponde al estrato superior que es el peso volumétrico que representaría la pared vertical que tiene 1591Kg/m³.

Con este ejercicio se pudo haber realizado un corte vertical de hasta 3.90 metros y no hubiera tenido problemas de desmoronamientos. Sin perjuicio de esta fórmula general, como lo estipula la NEC, es el ingeniero geotécnico quien debe establecer el sistema constructivo para las excavaciones, ya que si la excavación permanece por mucho tiempo puede fallar.

- El área libre de obstáculos como edificaciones cercanas o infraestructuras de redes de servicio, es un detalle a considerar para la implementación de este tipo de sistema de protección para excavaciones, ya que hubo espacio suficiente y no se tuvo limitaciones para conformar taludes.

5.2. Recomendaciones

- Revisar el estudio de suelos que deberá contener un capítulo exclusivo con las recomendaciones del ingeniero geotecnista para el sistema constructivo para excavaciones, así como los resultados de ensayos de laboratorio, identificando la estratigrafía del suelo, su clasificación para conocer si son suelos cohesivos o no cohesivos, y la verificación de los parámetros que determinan que la información mostrada es consistente, tan solo revisando el límite líquido, pasante de tamiz 200, y resistencia del suelo.
- El principal problema en la construcción de una cimentación es el agua. Este es un parámetro importante que define el sistema constructivo a implementar. Se recomienda conocer a qué profundidad se encuentra el agua (nivel freático), esto ayuda inclusive para considerar en el presupuesto el rubro de bombeo.
- Revisar los planos estructurales para conocer cómo se compone la estructura de cimentación y los requerimientos de mejorar el suelo. Esto permite establecer la profundidad que deberá tener la excavación.
- Conocer las limitaciones de espacio. La NEC establece que se debe precautelar la integridad de las estructuras vecinas, por lo que, es necesario conocer el sitio para determinar obras cercanas, instalaciones, y demás consideraciones que puedan servir para elegir el método de excavación a realizar.

Capítulo 6 BIBLIOGRAFÍA

- construmática. (27 de Julio de 2019). *Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción*. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/Movimiento_de_Tierras
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- De Solminihac T., H., & Thenoux Z., G. (2011). *Procesos y Técnicas de Cosntrucción*. Editorial ebooks Patagonia - Ediciones UC.
- Del Amo Pérez, M. (2015). *Las Actuaciones en el terreno y la cimentación*. Madrid: Editorial Servicio de Publicaciones Universidad de Alcalá.
- El Telegrafo. (28 de MAYO de 2018). Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/industrias-desarrollo-guayas-ecuador>
- Ferri Cortés, J. (2013). *Fundamentos de Construcción*. España: Editorial Club Universitario ECU.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *ACUERDO No. 061*. Quito: REGISTRO OFICIAL.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo No. 097-A*. Quito: REGISTRO OFICIAL.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015), Capítulo Geotecnia y Cimentaciones, Código NEC-SE-GC
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (s.f.). *Ingeniería de Cimentaciones*. México: LIMUSA NORIEGA EDITORES.
- Rodríguez Serquén, W. (2016). *Ingeniería Geotécnica*. Perú. Obtenido de https://www.academia.edu/20445481/INGENIER%C3%8DA_GEOT%C3%89CNICA_2016_BOOK_Geotechnical_Engineering_2016_by_William_Rodr%C3%ADguez_Serqu%C3%A9n
- Tamez González, E. (2001). *Ingeniería de Cimentaciones*. México.
- Reglamento de Seguridad y salud para la construcción y obras públicas (2008), Registro Oficial No. 249
- Yepes Piqueras, V. (2016). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Sánchez Fajardo Judith del Carmen**, con C.C: # 0916484017 autor/a del trabajo de titulación: **Análisis de la metodología constructiva y de costos para la protección de una excavación profunda mediante conformación de talud y tablestacado en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Durán** previo a la obtención del título de **Ingeniera en Administración de Proyectos de Construcción** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **16 de septiembre de 2019**

f. _____

Nombre: **Sánchez Fajardo Judith del Carmen**

C.C: **0916484017**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Análisis de la metodología constructiva y de costos para la protección de una excavación profunda mediante conformación de talud y tablestacado en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Durán		
AUTOR(ES)	Judith del Carmen Sánchez Fajardo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ángela Francisca Cali Proaño		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Arquitectura y Diseño		
CARRERA:	Ingeniería en Administración de Proyectos de Construcción		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera en Administración de Proyectos de Construcción		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de septiembre de 2019	No. DE PÁGINAS:	77
ÁREAS TEMÁTICAS:	Administración, Construcción, Ingeniería Civil		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Excavación profunda; Sistema de protección; Conformación de taludes; Tablestacados; Estudio geotécnico; Planta de tratamiento de aguas residuales		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): En una obra que se requiere de una excavación profunda es muy importante la selección de un sistema de protección para evitar accidentes de los obreros. En el presente trabajo de titulación se realizó un análisis comparativo entre la Conformación de Taludes y Tablestacados utilizados durante la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Durán. Esta planta era una estructura semienterrada que requería de una excavación desde el terreno natural de 3.10 metros de profundidad, y, a criterio del Residente de Obra, luego de haber analizado el estudio de suelos determinó realizar un sistema de protección de Conformación de Taludes. La planta tenía un Pozo de Bombeo que requería de una excavación de 6.89 metros de profundidad y se realizó un Tablestacado como sistema de protección. En el marco teórico se analizó la Clasificación de los Suelos, el contenido de un Estudio Geotécnico según lo establecido en la Norma Ecuatoriana de Construcción y lo relacionado a excavaciones y sus tipos. Se realizó un análisis al informe de resultados de ensayos de laboratorio de una de las perforaciones realizadas en el sitio del proyecto, para conocer los parámetros que aportan para determinar el sistema a implementar en una excavación. En el resumen comparativo resultó una variación tanto en tiempo como en costos del 80% entre ambos sistemas. La aplicación de una Ingeniería de Valor al revisar la documentación técnica del proyecto garantiza la elaboración de un presupuesto eficiente y la selección de sistemas constructivos óptimos.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0994139326	E-mail: judith2210_sf@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: MORA ALVARADO, ENRIQUE ALEJANDRO		
	Teléfono: +593-4-222 2024		
	enrique.mora@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			