

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“SUELOS ARENOSOS PRECOMPACTADOS CON AGUA RACIONADA POR  
PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA  
PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE SANEAMIENTO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR  
NILDO WILDER MERINO CARDENAS**

**ASESOR  
MSc. Ing. JOSÉ WILFREDO GUTIÉRREZ LÁZARES**

**LIMA- PERÚ**

**2020**

© 2020, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”**

Merino Cárdenas, Nildo Wilder  
nwmerinoc@uni.pe  
cel.942921074

## **DEDICATORIA**

A mis padres Teresa y Gregorio por todo el apoyo y motivación, porque son la razón por la que cualquier objetivo personal puede lograrse.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. José Wilfredo Gutiérrez Lázares por el apoyo incondicional, dirección, motivación y confianza en la realización y conclusión de este trabajo.

Al Ing. Vladimir Fernández Larrauri, por sus consejos y motivación para desarrollar e implementar esta investigación bajo el convencimiento que se debe innovar y buscar siempre la mejora continua.

A la UNI por la formación profesional y calidad de personas que la conforman.

---

<b>ÍNDICE</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE CUADROS.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1 GENERALIDADES .....	14
1.2 ANTECEDENTES.....	14
1.3 PROBLEMÁTICA.....	15
1.4 ALCANCE DE LA TESIS.....	18
1.5 OBJETIVOS.....	19
1.5.1 Objetivo General.....	19
1.5.2 Objetivos Específicos.....	19
1.6 HIPÓTESIS.....	19
1.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	19
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
2.1 ORIGEN DE LOS SUELOS ARENOSOS .....	21
2.2 PROPIEDADES DE LOS SUELOS .....	22
2.2.1 Límites de tamaño .....	22
2.2.2 Análisis granulométrico .....	22
2.2.3 Relaciones de peso y volumen.....	22
2.2.4 Límites de Atterberg .....	24
2.2.5 Permeabilidad .....	25
2.2.6 Esfuerzo efectivo.....	26
2.2.7 Resistencia al corte .....	27
2.3 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	27
2.4 COMPACIDAD RELATIVA .....	28
2.5 PRESIÓN LATERAL DE SUELO .....	29
2.6 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS .....	30
2.6.1 Respecto de la fricción interna y cohesión .....	30
2.6.2 Respecto de la resistencia al corte .....	31
2.6.3 Respecto de la capacidad portante .....	31
2.6.4 Tipos de estabilizaciones.....	31

2.6.5 Respecto de la estabilización granulométrica .....	32
2.6.6 Respecto de la estabilización mecánica y capacidad de soporte .....	32
2.6.7 Respecto de la compactación .....	32
2.6.8 Respecto de la estabilización suelo-cemento y suelo-cal .....	34
2.7 DISEÑO DE TALUDES DE LAS EXCAVACIONES .....	34
2.7.1 Método de equilibrio límite .....	34
2.7.2 Método del cálculo de deformaciones .....	35
<b>CAPÍTULO III: ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>36</b>
3.1 DATOS GENERALES DE LA OBRA .....	36
3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	36
3.3 OBRAS PREVISTAS EN EL PROYECTO .....	37
3.4 CONDICIONES DEL SITIO .....	38
3.5 ANTECEDENTES TÉCNICOS.....	41
3.5.1 Influencia del agua en la compactación.....	42
3.5.2 Influencia de las vibraciones en la compactación.....	44
<b>CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA EN ESTUDIO.....</b>	<b>48</b>
4.1 FORMACIONES GEOLÓGICAS.....	48
4.2 GEOMORFOLOGÍA.....	48
4.2.1. Estribaciones de la cordillera occidental .....	48
4.2.2. Colinas y llanura pre andina.....	48
4.2.3. Lomadas onduladas .....	48
4.2.4. Valles y quebradas .....	48
4.2.5. Borde litoral .....	48
4.3 LITOESTRATIGRAFÍA.....	49
4.3.1 Depósitos eólicos (Qr-e).....	49
4.3.2 Depósitos marinos (Qr-m).....	49
4.3.3 Depósitos coluviales (Qr-c) .....	50
4.4 PARÁMETROS FÍSICOS.....	51
4.5 PARÁMETROS MECÁNICOS.....	52
<b>CAPÍTULO V: PRECOMPACTACIÓN CON AGUA EN ARENAS .....</b>	<b>53</b>
5.1 PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN .....	53
5.2 TIEMPO DE INFILTRACIÓN .....	53
5.3 DIMENSIONES DE LAS ARROCERAS.....	53
5.4 MODELAMIENTO DE LA EXCAVACIÓN .....	54

<b>CAPÍTULO VI: PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN Y LA PRECOMPACTACIÓN .....</b>	<b>55</b>
6.1 PRECOMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN .....	55
6.2 PRECOMPACTACIÓN CON AGUA Y VIBRACIÓN.....	56
<b>CAPÍTULO VII: NORMATIVIDAD .....</b>	<b>57</b>
7.1 RESPECTO DE LA NORMA E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES .....	57
7.2 RESPECTO DE LA NORMA G.050 SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN .....	58
7.2.1 Respecto del anexo i.1 modelos para diseños de taludes .....	58
7.2.2 Respecto del anexo i.2 modelos de entibados .....	60
7.2.3 Respecto del anexo i.3 requisitos mínimos de la madera según el tipo de suelo ....	61
7.3 RESPECTO DE LA NORMA OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION (OSHA).....	61
7.3.1 Respecto del apartado (b): Requisitos para sistemas de protección.....	62
7.3.2 Respecto del Apartado (c): Requisitos para sistemas de protección.....	63
7.3.3 Respecto del apéndice A: Clasificación de Suelos.....	63
7.3.4 Respecto del apéndice B: Pendientes y paredes verticales.....	65
7.3.5 Respecto del apéndice C: Apuntalamiento de madera para zanjas .....	66
7.3.6 Respecto del apéndice D: Aluminio hidráulico en apuntalamiento de zanjas.....	66
7.4 RESPECTO DE LA NORMA CE.020 SUELOS Y TALUDES.....	66
7.4.1 Análisis de estabilidad de taludes.....	66
7.4.2 Coeficiente sísmico .....	66
7.4.3 Empuje activo.....	67
7.4.4 Empuje de reposo .....	67
7.4.5 Empuje pasivo .....	67
7.4.6 Entibación .....	67
7.4.7 Estabilización de taludes.....	67
7.4.8 Estabilización de taludes por disminución de las presiones hidrostáticas .....	67
7.4.9 Estabilización de taludes por disminución de los esfuerzos cortantes solicitantes .	68
7.4.10 Estabilización de taludes por introducción de fuerzas resistentes.....	68
7.4.11 Estabilización de taludes por mejora de las propiedades del suelo .....	68
7.4.12 Suelo colapsable .....	68
7.4.13 Estabilización de suelos mediante métodos químicos .....	68
7.4.14 Estabilización de suelos mediante métodos físicos.....	69
7.4.15 Estabilización por compactación .....	69
7.4.16 Entibaciones.....	69
7.5 FACTORES DE SEGURIDAD REFERENTE A LAS NORMAS .....	69

<b>CAPÍTULO VIII: APLICACIÓN PROYECTO PACHACUTEC – ETAPA I .....</b>	<b>71</b>
8.1 DEFINICIÓN DE EQUIPOS .....	71
8.2 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE INFILTRACIÓN.....	73
8.3 DISEÑO DE EXCAVACIONES.....	75
8.3.1 Dimensiones de arrocetas y cantidad de agua .....	75
8.3.2 Excavación tipo I .....	76
8.3.3 Excavación tipo II .....	77
8.3.4 Excavación tipo III .....	77
8.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO .....	78
8.4.1 Excavación de zanja tipo I .....	78
8.4.2 Excavación de zanja tipo II .....	78
8.4.3 Excavación de zanja tipo III .....	79
<b>CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>80</b>
9.1 EVALUACIÓN TÉCNICA .....	80
9.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	89
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>

## RESUMEN

La presente tesis de investigación aplicada, trata sobre la mejora de la productividad en la instalación de tuberías en redes de saneamiento, aplicado en el Proyecto de Agua Potable y Alcantarillado Pachacutec Etapa I, en el distrito de Ventanilla – Perú, para lo cual se usó la metodología científica inductivo - deductivo. Se analizó las características geotécnicas de los suelos arenosos de la zona y se propuso una metodología de excavación para la instalación de las tuberías, que se denominó precompactación; con la premisa que, al racionalizar la cantidad de agua en el proceso de precompactación, según la profundidad de excavación, se aumentaría la productividad con la respectiva reducción de costos.

Se evidenció que la baja compacidad de los suelos arenosos del distrito de Ventanilla y la metodología tradicional empleada para la excavación de zanjas genera dificultad en el proceso, propiciando bajos rendimientos en la obra y encareciendo los procesos de instalación en redes de agua potable y alcantarillado. Debido a que las metodologías de excavación en suelos arenosos del tipo ortodoxas o tradicionales, que se ciñen a la normatividad, no regulan el volumen de agua ni de los entibados a emplear; se realizó un análisis de las características de los suelos arenosos de la zona y condiciones del sitio. Tras ello, se propuso una metodología que regule el volumen de agua a emplear en la estabilización de los taludes de excavación; diseñar los taludes de las excavaciones; disminuir el uso de los entibados; y que principalmente se tecnifique los procesos con la finalidad de incrementar la productividad de la obra.

Como consecuencia de la aplicación de la metodología propuesta, se obtuvo como resultado que en los procesos donde se implementó la metodología, se pudo regular el volumen de agua en función de la profundidad de excavación, diseñar los taludes de excavación y obtener resultados técnico económico favorable para la obra.

## ABSTRACT

The present thesis of applied research, deals with the improvement of the productivity in the installation of pipes in sanitation networks, applied in the Project of Potable Water and Sewerage Pachacutec Stage I applied in Stage I of the Pachacutec Potable Water and Sewage System Project, in the district of Ventanilla, in the district of Ventanilla - Peru, for which the scientific methodology inductive - deductive was used. The geotechnical characteristics of the sandy soils of the area were analyzed and an excavation methodology was proposed for the installation of the pipes, which was called precompaction. The premise was that, by rationalizing the amount of water in the precompaction process, according to the depth of excavation, productivity would be increased with the respective cost reduction.

Translated with [www.DeepL.com/Translator](http://www.DeepL.com/Translator) (free version)

Evidence showed that the low compactness of the sandy soils in the Ventanilla district and the traditional methodology used for the digging of trenches generates difficulty in the process, causing low work yields and making installation processes more expensive in drinking water and sewage networks. Because orthodox and traditional excavation methodologies in sandy soils that comply with the regulations do not regulate the volume of water nor the trench shoring to be used an analysis was performed on the characteristics of the sandy soils of the area and site conditions. After that, a methodology was proposed that: regulates the volume of water to be used in the stabilization of the excavation slopes; designs the slopes of the excavations and decreases the use of the trench shoring; and primarily technifies the processes with the purpose of increasing the productivity of the work

As a consequence of the application of the proposed methodology, results indicate that in the processes where the methodology was implemented it was possible to regulate the volume of water according to the excavation depth, design the excavation slopes and obtain economically favorable conditions for the work.

## PRÓLOGO

La falta de agua, en procesos de compactación de suelos arenosos para obras de saneamiento, obliga al profesional a racionalizarla, sin afectar la productividad ni los costos de operación.

La presente investigación aborda problemas de compacidad en los suelos arenosos, encontrados en las excavaciones de zanjas para obras de saneamiento de agua potable y alcantarillado, del proyecto Pachacutec Etapa I, en el distrito de Ventanilla. Las metodologías de excavación empleadas, no regulan el volumen necesario de agua para la compactación y en la mayoría de los casos se incrementan los tiempos muertos y se dificulta la productividad; en los suelos arenosos el agua infiltra rápidamente sin oportunidad a iniciar la compactación.

La tesis caracteriza a los suelos y modela el talud de las zanjas excavadas en la zona del proyecto; proponiendo la metodología de precompactación con racionalización del volumen de agua a emplear hasta la profundidad de excavación.

El trabajo presenta el modelamiento de las excavaciones de las zanjas, de los suelos arenosos participantes, de los taludes generados y de la aplicación de precompactación sin afectar la productividad.

La importancia de la investigación radica en trabajos en suelos tipo SP y SP-SM con baja compacidad, ángulo de fricción entre  $27^\circ$  a  $33^\circ$  y cohesión nula, cuya estabilidad se evaluó con el programa SlideV.5.0, para diferentes cantidades de agua, profundidad de excavación y número de ciclos de precompactación con plancha vibratoria. Se comprueba que la racionalización del volumen de agua semanal empleada, se reduce al 50%, ahorrando un total de 1.5 millones de soles.

El trabajo “Suelos arenosos precompactados con agua racionada por profundidad de excavación para el incremento de la productividad en obras de saneamiento”, que presenta el Sr. Nildo Merino, es un gran aporte a la especialidad y presenta los méritos suficientes para alcanzar su título profesional de ingeniero civil.

El autor propone racionalizar el agua empleada en la precompactación de suelos arenosos en zanjas excavadas a diferentes profundidades e incrementa la productividad en obras de saneamiento. Es decir, la tesis muestra una metodología que mejora las características de resistencia de suelos arenosos, en obras de agua

potable y alcantarillado, disminuyendo los tiempos muertos y los costos de instalación de tuberías en suelos arenosos.

MSc. Ing. José Wilfredo Gutiérrez Lázares

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N°01: Acceso a servicios básicos en el Perú .....	15
Cuadro N°02: Esquema método inductivo .....	19
Cuadro N°03: Esquema método deductivo.....	20
Cuadro N°04: Agentes de transporte y tipo de depósito de suelo .....	21
Cuadro N°05: Clasificación de suelos SUCS-AASHTO.....	22
Cuadro N°06: N° de malla - abertura en mm.....	22
Cuadro N°07: Valores de coeficientes de permeabilidad .....	26
Cuadro N°08: Sistema clasificación SUCS .....	27
Cuadro N°09: Rangos de compacidad relativa .....	28
Cuadro N°10: Estado de vías de la zona de influencia del proyecto.....	39
Cuadro N°11: Cohesión aparente, suelo SM (e=0.53) vs saturación.....	43
Cuadro N°12: Cohesión aparente, suelo SM (e=0.51) vs saturación.....	43
Cuadro N°13: Zonificación sísmica del distrito de Ventanilla.....	47
Cuadro N°14: Ángulos de fricción y cohesión .....	52
Cuadro N°15: Modelos para diseño de taludes.....	59
Cuadro N°16: Tipo de madera para entibados.....	61
Cuadro N°17: Pendiente máxima permisible.....	65
Cuadro N°18: Factores de seguridad .....	70
Cuadro N°19: Definición de tipo de excavación .....	75
Cuadro N°20: Dimensiones de arroceras técnica.....	75
Cuadro N°21: Volumen de agua de acuerdo al tipo de excavación .....	76
Cuadro N°22: Procesos donde se implementó la técnica de precompactación .....	80
Cuadro N°23: Ratios de la producción de la precompactación vs tradicional.....	82
Cuadro N°24: Consumo de agua metodologías precompactación vs convencional	85
Cuadro N°25: Porcentaje de disminución de consumo de agua .....	85
Cuadro N°26: Ratio Vol. agua (m3) por producción (ml) .....	85
Cuadro N°27: Consumo de agua por tipo de excavación.....	86
Cuadro N°28: Ratios de costo de consumo de agua por semana .....	89
Cuadro N°29: Porcentaje de disminución de consumo de agua .....	89
Cuadro N°31: Ahorro total con aplicación de la metodología propuesta.....	90
Cuadro N°32: Ahorro total discriminando periodo de aprendiza e implementación .	90

**LISTA DE FIGURAS**

Fig.N°01: Arroceras metodología convencional .....	16
Fig.N°02: Arroceras metodología convencional .....	17
Fig.N°03: Arroceras metodología convencional .....	17
Fig.N°04: Entibados y sobre excavaciones.....	18
Fig.N°05: Entibados y falta de espacio.....	18
Fig.N°06: Esquema de relaciones de peso y volumen .....	23
Fig.N°07: Esquema de límites de Atterberg.....	25
Fig.N°08: Esquema para el gradiente hidráulico.....	25
Fig.N°09: Esquema para el cálculo de esfuerzo efectivo .....	26
Fig.N°10: Representación de presión lateral .....	29
Fig.N°11: Representación de presión activa del suelo .....	29
Fig.N°12: Representación de presión pasiva del suelo .....	30
Fig.N°13: Agua que no drena por acción gravitacional.....	33
Fig.N°14: Agua retenida entre partículas que desarrolla tensión superficial.....	33
Fig.N°15: Ubicación del proyecto Pachacutec Etapa I.....	37
Fig.N°16: Layout general del proyecto Pachacutec Etapa I.....	38
Fig.N°17: Vista general del proyecto Pachacutec Etapa I.....	39
Fig.N°18: Calle angosta que dificulta trabajos del proyecto.....	40
Fig.N°19: Sobre excavaciones y uso de entibados .....	40
Fig.N°20: Modelo de suelo parcialmente saturado.....	41
Fig.N°21: Cohesión aparente, suelo SM ( $e=0.53$ ) vs saturación.....	43
Fig.N°22: Grafica Cohesión aparente para un suelo SM ( $e=0.51$ ) vs saturación...	44
Fig.N°23: Modelo suelo-equipo para medir la influencia de la frecuencia en la compactación.....	45
Fig.N°24: Velocidad de desplazamiento en ensayos utilizando oscilador electrodinámico.....	46
Fig.N°25: Grafica de asentamiento total en ensayos con arena seca y húmeda .....	46
Fig.N°26: Grafica de zonificación sísmica del distrito de Ventanilla .....	47
Fig.N°27: Depósitos eólicos Ventanilla.....	49
Fig.N°28: Deposito marino Ventanilla-Cerro Cachito .....	50
Fig.N°29: Cerro Gorila .....	50
Fig.N°30: Humedad natural vs N° de ensayo.....	51
Fig.N°31: Densidades max y min vs N° de ensayo .....	51
Fig.N°32: Esquema de arroceras .....	54
Fig.N°33: Esquema de modelamiento de excavación .....	54
Fig.N°34: Esquema de precompactación por vibración .....	55
Fig.N°35: Esquema de precompactación con agua y vibración .....	56
Fig.N°36: Esquema de talud para determinar el factor de seguridad.....	70
Fig.N°37: Retroexcavadora 420F .....	71
Fig.N°38: Excavadora Doosan DX140F .....	72
Fig.N°39: Pancha vibratoria wacker DPU6555.....	73
Fig.N°40: Arroceras metodología convencional .....	73
Fig.N°41: Esquema de arroceras .....	75
Fig.N°42: Diseño de excavación tipo I (SADE-COSAPI).....	76

Fig.N°43. Diseño de excavación tipo II (SADE-COSAPI).....	77
Fig.N°44: Diseño de excavación tipo III (SADE-COSAPI).....	77
Fig.N°45: Implementación de diseño de excavación tipo I.....	81
Fig.N°46. Implementación de diseño de excavación II .....	81
Fig.N°47: Implementación de diseño de excavación tipo III.....	82
Fig.N°48: Gráfica producción P110 vs N° semana .....	83
Fig.N°49: Gráfica producción P160 vs N° de semana .....	83
Fig.N°50: Gráfica producción P240 vs N° de semana .....	84
Fig.N°51: Gráfica producción P270 vs N° de semana .....	84
Fig.N°52: Gráfica producción P110/Consumo de agua/N° de semana.....	87
Fig.N°53: Gráfica producción P160/Consumo de agua/N° de semana.....	87
Fig.N°54. Gráfica producción P240/Consumo de agua/N° de semana.....	88
Fig.N°55. Gráfica producción P270/Consumo de agua/N° de semana.....	88

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### SÍMBOLOS

C : Cohesión

CW: Cantidad de agua

$D_r$  : Compacidad relativa

EMS: Estudio de mecánica de suelos

e : Relación de vacíos

Hc: Altura crítica

FS: Factor de seguridad

N: Número de pasadas

$\eta$  : Porosidad

PR: Personal Responsable

V : Volumen total

$V_a$ : Volumen de aire

$V_w$ : Volumen de agua

$V_v$ : Volumen de vacíos

$V_s$ : Volumen de sólidos

W : Masa de suelo

w : Contenido de agua

PR: Profesional Responsable

PRS: Profesional Responsable del Diseño del Sostenimiento

S : Grado de saturación

Y : Peso específico

$Y_d$  : Peso específico seco

$Y_{sat}$  : Peso específico saturado

k : Coeficiente de permeabilidad

i : Gradiente hidráulico

U : Velocidad de Darcy

IP : Índice de plasticidad

LL : Límite líquido

LP : Límite plástico

$\emptyset$  : Ángulo de fricción

### SIGLAS

AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials.

ASTM: American Society for Testing Materials

OSHA: Occupational Safety & Health Administration.

SUCS : Corps of Engineers, Department of the Army and Bureau of Reclamation.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

Las metodologías de excavación para la instalación de tuberías en obras de agua potable y alcantarillado dependen del diámetro de la tubería, de la profundidad de excavación, del tipo de suelo, entre otros detalles. Estas excavaciones se clasifican como profundas o superficiales, donde las profundas requieren del uso de entibados o sistema de banquetas y/o taludes, tanto por vialidad como por seguridad.

En la mayoría de los casos, las características de los suelos arenosos y sus condiciones de sitio, hacen poco factible realizar excavaciones con taludes, sin realizar mejoras en el suelo. Los materiales arenosos se compactan, mejorando sus propiedades de resistencia. Este proceso se puede realizar mediante inundación con agua, llamado también compactación hidráulica. Sin embargo, la solución resulta poco técnica y hasta antieconómica, pues si bien mejora las condiciones de los taludes, la cantidad de agua empleada y su forma de aplicación no corresponde a ninguno de los procesos mencionados.

En la compactación hidráulica, el agua no potable llega en cisternas desde fuentes alejadas a las zonas de trabajo y su uso desmedido lo hace antieconómico. Por otro lado, algunos proyectos consideran el uso de entibados, que encarecen la obra y disminuye la productividad.

### 1.2 ANTECEDENTES

La presente tesis considera los trabajos que realiza la empresa SADE-COSAPI en el proyecto “Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado para el macro proyecto Pachacutec – Etapa I”, en el distrito de Ventanilla. Este proyecto comprende la construcción de reservorios, conexiones domiciliarias, automatización, medidores, 281 Km de redes de agua potable y 324 Km de redes de alcantarillado, donde las incidencias de estos últimos presentan costos directos que alcanzan hasta el 73%.

La zona del proyecto presenta arenas de origen marino y eólico, donde las instalaciones de las redes de agua potable y alcantarillado demandan excavaciones de 1.50 m hasta 10.0 m de profundidad, para lo cual se recomiendan trabajos de entibados y agua para su densificación. Sin embargo, el mejoramiento de los

taludes de excavación por compactación hidráulica, demanda el uso desmedido del volumen de agua en las excavaciones, y el uso de los entibados disminuye la productividad.

Según el INEI en su informe técnico “Evolución de la pobreza monetaria 2009-2014” de abril del 2015, el 66.8% de hogares pobres tienen acceso al agua potable dentro de la vivienda y el 34% de hogares pobres, tienen acceso a la red de alcantarillado dentro de la vivienda. En general, la ocupación de estas familias se realiza en lugares que les permiten las autoridades y; por lo general corresponde a los suelos de menor resistencia, como son los arenales.

El cuadro N°01 mostrado, señala a los hogares que cuentan con servicios básicos de agua potable y saneamiento dentro de las viviendas.

Cuadro N°01: Acceso a servicios básicos en el Perú

Acceso	Agua potable	Saneamiento
Urbano	81.7% (94.4%)	71.6% (88.8%)
Rural	25.4% (79.1%)	2.5% (16.6%)
Total	82.4% (89.4%)	67.3% (72.9%)

FUENTE: INEI 2015 (2018)

Las obras de saneamiento, que emplazan en suelos arenosos, demandan mejoras en los procesos constructivos para disminuir los costos e incrementar la productividad, es decir procedimientos más eficaces y eficientes que amplíen la cobertura de servicios, disminuyendo los costos y el tiempo de ejecución de la obra. Se mostrará una metodología de excavación de suelos arenosos, denominada precompactación, que permita mejorar la técnica de densificación de las arenas disminuyendo los volúmenes de materiales excavados; y que permita mejorar la productividad, disminuyendo tiempos muertos al superar las condiciones de sitio.

### 1.3 PROBLEMÁTICA

La baja compacidad de los suelos arenosos del distrito de Ventanilla, donde emplaza el proyecto Pachacutec – Etapa I, afectan los rendimientos en trabajos de excavaciones para la instalación de las tuberías.

Según la metodología empleada para las excavaciones de zanjas en suelos arenosos, se generan desventajas económicas por la dificultad en el proceso,

propiciando bajos rendimientos de la obra; y la falta de métodos innovadores pone en riesgo la seguridad del personal y encarece la obra.

Las metodologías de excavación en suelos arenosos del tipo convencional, que se ciñen a la normatividad, no regulan el volumen de agua a emplear ni de los entibados. Además, las excavaciones en suelos arenosos, que carecen de estudios de mecánica de suelos (EMS), no permiten optimizar los recursos, e incrementan los tiempos muertos, dificultando las mejoras en la productividad.

Se muestra en las Figuras N°01, N°02 y N°03, las arroceras realizadas para el mejoramiento de las características de resistencia de los suelos arenosos, compactación hidráulica, donde no se regula el volumen de agua empleada, la dimensión de las arroceras y el tiempo necesario para la infiltración del agua hasta la profundidad de excavación.



Fig.N°01: Arroceras metodología convencional



Fig.N°02: Arroceras metodología convencional



Fig.N°03: Arroceras metodología convencional

El uso de entibados garantiza la seguridad de los trabajos, mas no controla las sobre excavaciones. Además, no favorece la productividad, como se muestra en las Figuras N°04 y N°05.



Fig.N°04: Entibados y sobre excavaciones



Fig.N°05: Entibados y falta de espacio

#### 1.4 ALCANCE DE LA TESIS

La tesis presenta una metodología de mejora de las características de resistencia de los suelos arenosos, para realizar excavaciones en obras de saneamiento, que permitan mejorar la productividad, disminuir los tiempos muertos e incidir en la disminución de costos de instalación de tuberías en suelos arenosos.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo General

Racionalizar el agua empleada en la precompactación de suelos arenosos de zanjas excavadas a diferentes profundidades, para incrementar la productividad en obras de saneamiento.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterización geotécnica y modelamiento de talud en suelos arenosos del Proyecto Pachacutec Etapa I.
- ✓ Desarrollo de la metodología de precompactación en excavaciones de zanjas mediante la determinación de la cantidad de agua, aplicado en el Proyecto Pachacutec I.
- ✓ Aplicación de la metodología propuesta, en el Proyecto Pachacutec I, en función de la profundidad de excavación con la factibilidad de la precompactación.

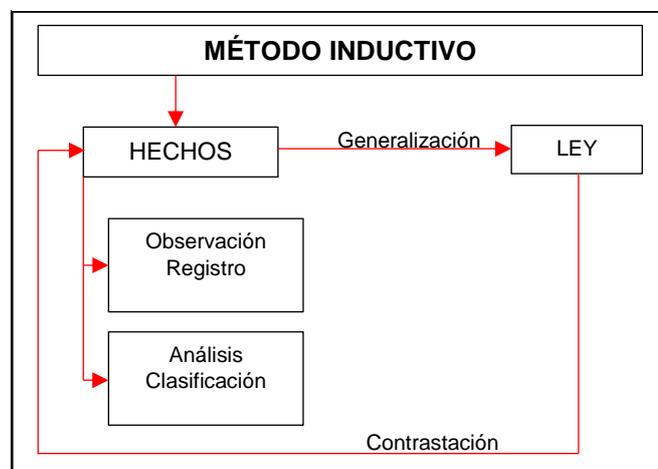
## 1.6 HIPÓTESIS

Racionalizando, según la profundidad de excavación de las zanjas, la cantidad de agua en el proceso de precompactación de suelos arenosos, se aumentaría la productividad en las obras de saneamiento con la respectiva reducción en los costos.

## 1.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO

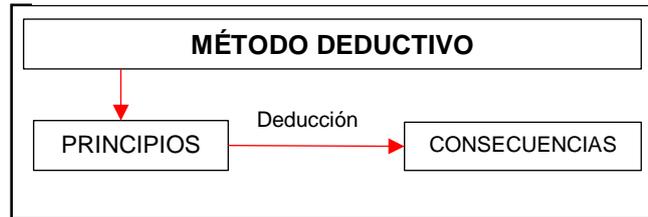
Se empleará el método científico inductivo – deductivo, como se muestra en los esquemas de los Cuadros N°02 y N°03.

Cuadro N°02: Esquema método inductivo



FUENTE: Elaboración propia

Cuadro N°03: Esquema método deductivo



FUENTE: Elaboración propia

Ambas metodologías de investigación permitirán desarrollar ideas y conceptos de las experiencias en la excavación de suelos arenosos, para la instalación de tuberías en obras de agua potable y alcantarillado. Asimismo, el análisis estará enfocado en los siguientes temas:

- ✓ Caracterización geotécnica del suelo.
- ✓ Definición de los factores para el modelamiento de la metodología.
- ✓ Diseño de las excavaciones.
- ✓ Pruebas en el campo.
- ✓ Análisis de los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 ORIGEN DE LOS SUELOS ARENOSOS

Los materiales rocosos al estar expuestos a procesos de intemperismo dan origen a diferentes tipos de suelos, entre ellos los suelos arenosos.

Existen dos tipos de Intemperismo: Físico y Químico.

Intemperismo Físico es el proceso mediante el cual los materiales rocosos se fragmentan en tamaños menores por acción mecánica de fuentes como corrientes de río, viento, corrientes marinas, movimientos de glaciares, procesos de hielo y deshielo, y demás procesos que no afecten la composición química de los materiales rocosos.

Intemperismo Químico son procesos que generan suelos de diferente composición química, de los materiales rocosos del cual se originan. Se tiene como agentes de estos procesos a la presión, calor, humedad, agentes bióticos, entre otros.

Los suelos que permanecen en el lugar donde se forman se denominan suelos residuales, mientras que los suelos que son transportados por agentes físicos a otros lugares se denominan suelos transportados.

Los suelos transportados se pueden dividir según los agentes de transporte como se muestra en el Cuadro N°04.

Cuadro N°04: Agentes de transporte y tipo de depósito de suelo

Agente de transporte	Tipo de depósito
Agua	Depósitos aluviales o fluviales
Glaciares	Depósitos glaciales
Viento	Depósitos eólicos

FUENTE: Elaboración propia

Por lo tanto, los suelos arenosos son producto del intemperismo sobre los materiales rocosos, donde sus propiedades dependen de la fuente y agente que las origina.

## 2.2 PROPIEDADES DE LOS SUELOS

### 2.2.1 Límites de tamaño

Para diferenciar los tipos de suelos por el tamaño de partículas que las conforman. Por ejemplo, las instituciones SUCS y AASHTO establecen límites de tamaño de partículas para diferenciar tipos de suelos como gravas, arenas y arcillas, como se muestra en el cuadro N°05.

Cuadro N°05: Clasificación de suelos SUCS-AASHTO

Sistema de Clasificación / tipo de material	SUCS	AASHTO
Grava	75mm a 4.75mm	75mm a 2mm
Arena	4.75mm a 0.075mm	2mm a 0.05mm
Limo y Arcilla	<0.075mm	Limo: 0.05mm a 0.002mm Arcilla: <0.002mm

FUENTE: Braja M. Das 2006

### 2.2.2 Análisis granulométrico

Se realiza a una cantidad determinada de masa representativa de suelo, que es pasada a través de mallas, de mayor a menor tamaño, con el objetivo de determinar los porcentajes de tamaño de partículas de suelo que pasan a través de las mallas.

Cuadro N°06: N° de malla - abertura en mm

N° de malla	4	6	8	10	16	20	30	40	50	60	80	100	200
Abertura (mm)	4.75	3.35	2.36	2	1.18	0.85	0.6	0.425	0.3	0.25	0.18	0.15	0.075

FUENTE: Braja M. Das 2006

### 2.2.3 Relaciones de peso y volumen

Los suelos están conformados por sistemas de tres fases: partículas sólidas de suelo, líquidas y gaseosas. Se muestra en la Figura N°06 el esquema representativo del sistema de tres fases del suelo.

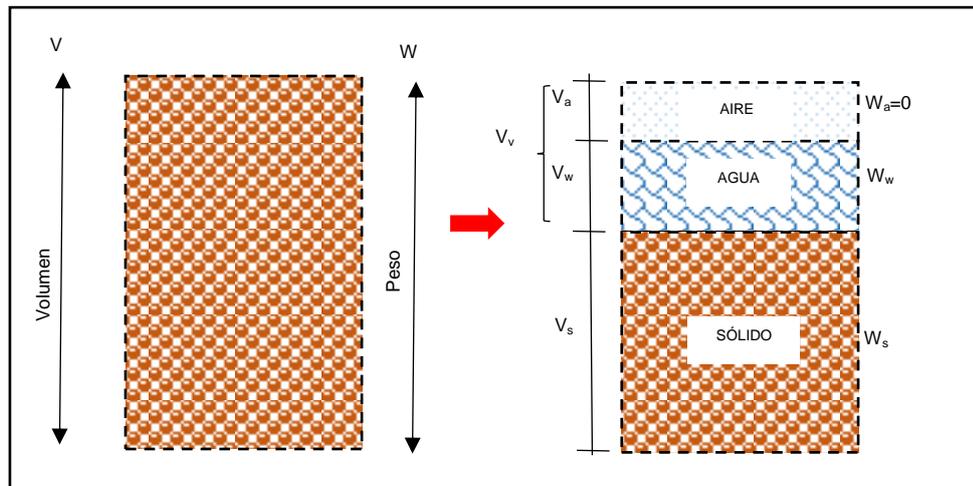


Fig.N°06: Esquema de relaciones de peso y volumen

FUENTE: Braja M. Das 2006

$$V = V_a + V_w + V_s$$

$$W = W_w + W_s$$

- Relación de vacíos (e): Es la relación entre volumen de vacíos y volumen de sólidos en una masa de suelo determinada.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

- Porosidad (n): Es la relación entre volumen de vacíos y el volumen de la muestra de suelo.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

- Grado de saturación (S): Es la relación entre el volumen de agua en los espacios de vacíos y el volumen de vacíos, expresado en porcentaje.

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

- Contenido de agua (w): Es la relación entre el peso del agua contenida en el suelo y el peso de sólidos del suelo, expresado en porcentaje.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

- Peso específico húmedo (Y): Es la relación entre el peso del espécimen del suelo y el volumen total del suelo.

$$Y = \frac{W_w + W_s}{V}$$

- Peso específico seco ( $Y_d$ ): Es la relación entre el peso de sólidos del suelo y el volumen total del suelo.

$$Y_d = \frac{W_s}{V}$$

- Peso específico saturado ( $Y_{sat}$ ): Cuando el volumen de vacíos está lleno de agua, el peso específico húmedo resulta igual al peso específico saturado.

$$Y = Y_{sat} \quad \text{si} \quad V_v = V_w$$

#### 2.2.4 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg (límites de consistencia), se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos según su contenido de agua. Se muestra el esquema en la Figura N°07.

- Límite líquido: Se define como el porcentaje de contenido de agua del suelo mediante el cual cambia de un estado líquido a un estado plástico. Se determina por medio del ensayo en la copa de Casagrande.
- Límite plástico: Se define como el porcentaje de contenido de agua para que el suelo cambie de estado plástico a estado semisólido. Se determina mediante la prueba ASTM D-4318, cuando el suelo se desmorona al moldear rollitos de 3.18mm de diámetro.
- Límite de contracción: Se define como el porcentaje de contenido de agua para que el suelo pase de estado semisólido a sólido. Se determina mediante la prueba ASTM D-427, cuando el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen con la pérdida de humedad.

También, se define como índice de plasticidad a la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

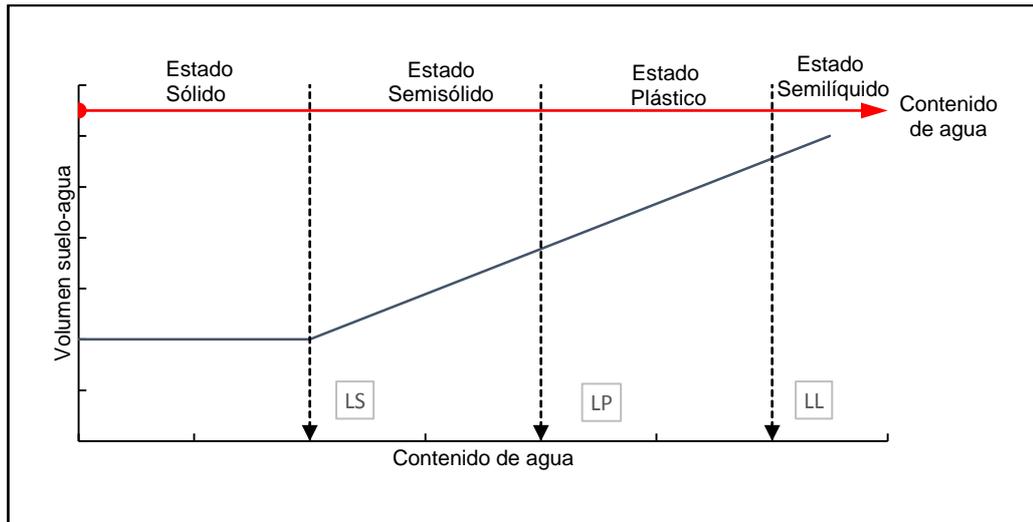


Fig.N°07: Esquema de límites de Atterberg

FUENTE: Braja M. Das 2006

### 2.2.5 Permeabilidad

Se define como la cantidad de agua que fluye a través de los vacíos del suelo en un tiempo unitario. Darcy en 1856 propuso la ecuación para calcular la velocidad del flujo de agua a través de la estructura del suelo.

$$v = k \cdot i$$

$v$ : Velocidad de Darcy

$k$ : Coeficiente de permeabilidad del suelo  $\left(\frac{cm}{s}\right)$

$i$ : Gradiente hidráulico

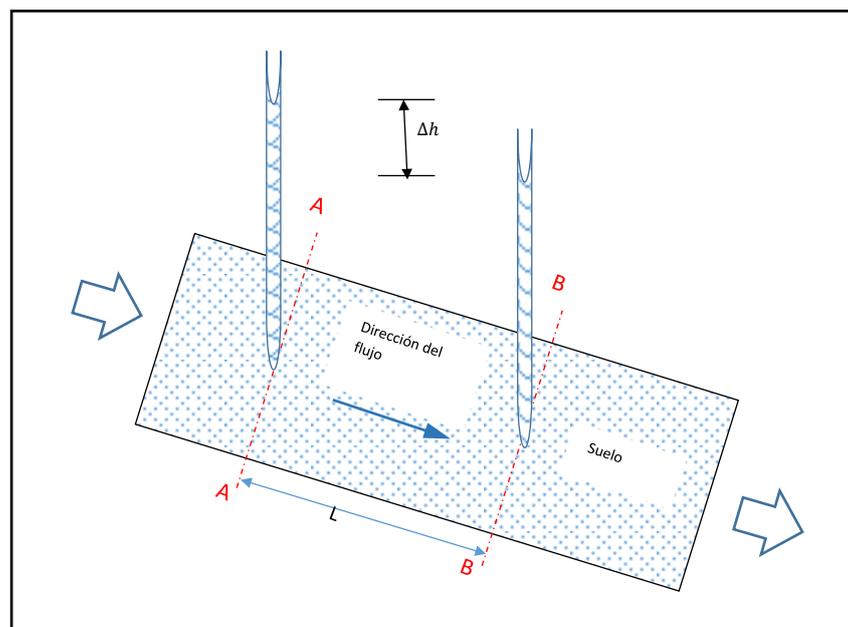


Fig.N°08: Esquema para el gradiente hidráulico

FUENTE: Braja M. Das 2006

Los valores del coeficiente de permeabilidad para diferentes tipos de suelo se muestran en el cuadro N°07.

Cuadro N°07: Valores de coeficientes de permeabilidad

Tipo de Suelo	Coficiente de permeabilidad k (cm/s)
Grava media gruesa	$>10^{-1}$
Arena gruesa a fina	$10^{-1}$ a $10^{-3}$
Arena Fina, arena Limosa	$10^{-3}$ a $10^{-5}$
Limo, limo arcilloso, arcilla limosa	$10^{-4}$ a $10^{-6}$
Arcillas	$10^{-7}$ o menor

FUENTE: Braja M. Das 2006

El gradiente hidráulico se define como:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

### 2.2.6 Esfuerzo efectivo

El esfuerzo vertical en el punto A del esquema mostrado en la Figura N°09 debido a la cobertura de suelo es:

$$\sigma = h_1\gamma + h_2\gamma_{sat}$$

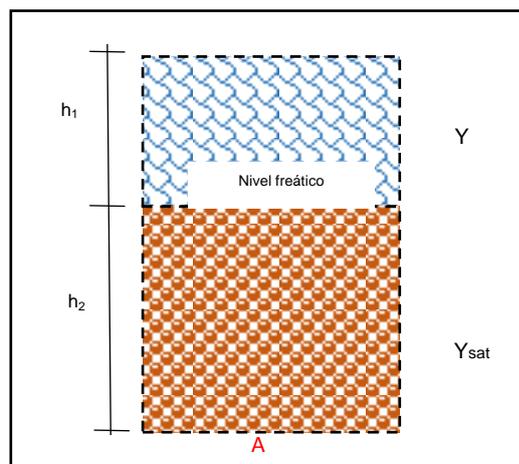


Fig.N°09: Esquema para el cálculo de esfuerzo efectivo

FUENTE: Braja M. Das 2006

El esfuerzo total es compartido o soportado entre el agua presente en los poros en los espacios vacíos del suelo, y por los sólidos del suelo en sus puntos de contacto.

### 2.2.7 Resistencia al corte

Según Morh y Coulomb la resistencia al corte en términos de esfuerzo efectivo de un suelo se expresa como:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi$$

Donde:

$\sigma'$ : Esfuerzo normal efectivo en el plano de corte

$C'$ : Cohesión, o cohesión aparente

$\phi$ : Ángulo de fricción del esfuerzo efectivo

### 2.3 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos se clasifican en grupos y subgrupos según sus propiedades. El sistema de clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, ASTM) agrupa los suelos y utiliza símbolos, como se muestra en la Cuadro N°08.

Cuadro N°08: Sistema clasificación SUCS

Símbolo	Descripción
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limos orgánicos
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien graduados
P	Mal graduado

FUENTE: Braja M. Das 2006

## 2.4 COMPACIDAD RELATIVA

El grado de compactación en suelos granulares se determina mediante el concepto de compactación relativa ( $D_r$ ), que se define mediante la siguiente fórmula:

$$D_r(\%) = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \times 100$$

$e_{m\acute{a}x}$  : Relación de vacíos del suelo en el estado más suelto

$e_{m\acute{i}n}$  : Relación de vacíos del suelo en el estado más denso

$e$  : Relación de vacíos in situ

Asimismo, la compactación relativa también puede expresarse en términos del peso específico seco:

$$D_r(\%) = \left( \frac{\gamma_d - \gamma_{d(m\acute{i}n)}}{\gamma_{d(m\acute{a}x)} - \gamma_{d(m\acute{i}n)}} \right) \frac{\gamma_{d(m\acute{a}x)}}{\gamma_d} \times 100$$

$\gamma_d$  : peso específico seco in situ

$\gamma_{d(m\acute{a}x)}$  : peso específico seco en el estado más denso, es decir, cuando la relación de vacíos es mínimo

$\gamma_{d(m\acute{i}n)}$  : peso específico seco en el estado más suelto, es decir, cuando la relación de vacíos es máximo

Se muestra en el Cuadro N°09 los rangos de compactación relativa de un suelo granular.

Cuadro N°09: Rangos de compactación relativa

Compactación relativa $D_r(\%)$	Descripción
0-20	Muy Suelto
20-40	Suelto
40-60	Medio
60-80	Denso
80-100	Muy denso

FUENTE: Braja M. Das 2006

## 2.5 PRESIÓN LATERAL DE SUELO

Las presiones laterales que ejercen los suelos varían de un límite inferior, denominado estado activo, a un límite superior denominado estado pasivo. Los esfuerzos laterales dependen de las deformaciones, es decir, si no hubiese deformaciones, se logra alcanzar el estado de reposo.

Por ejemplo, se tiene un muro que sostiene a un suelo. En estas condiciones se presentan tres tipos de interacciones entre el muro y el suelo.

Si el muro está restringido a cualquier movimiento, la presión lateral del suelo sobre el muro se denomina presión de suelo en reposo, como se muestra en la Figura N°10.

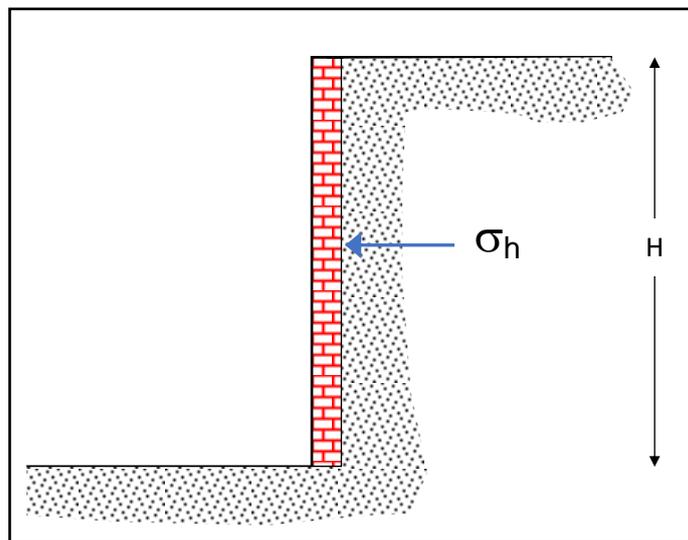


Fig.N°10: Representación de presión lateral

También, si el muro se aleja del suelo retenido, lo suficiente para generar una falla tipo cuña en el suelo, la presión lateral para esta condición se conoce como presión activa del suelo, como se muestra en la Figura N°11.

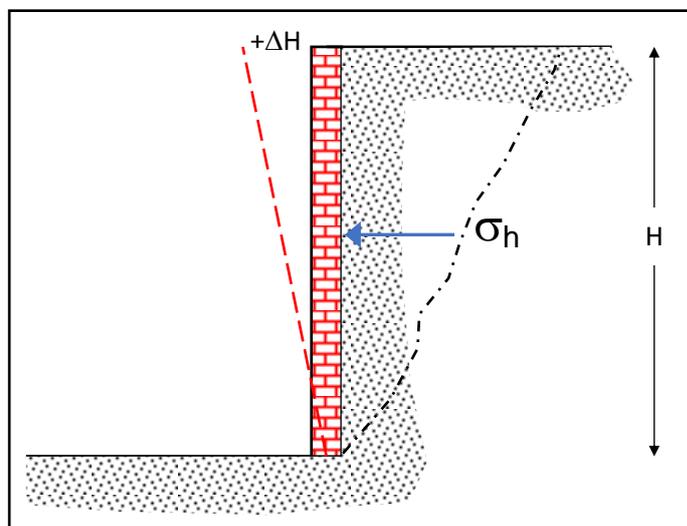


Fig.N°11: Representación de presión activa del suelo

Asimismo, cuando el muro es empujado hacia el suelo retenido, lo suficiente de manera que genera una falla tipo cuña en el suelo, la presión lateral para esta condición se denomina presión pasiva del suelo, como se muestra en la Figura N°12.

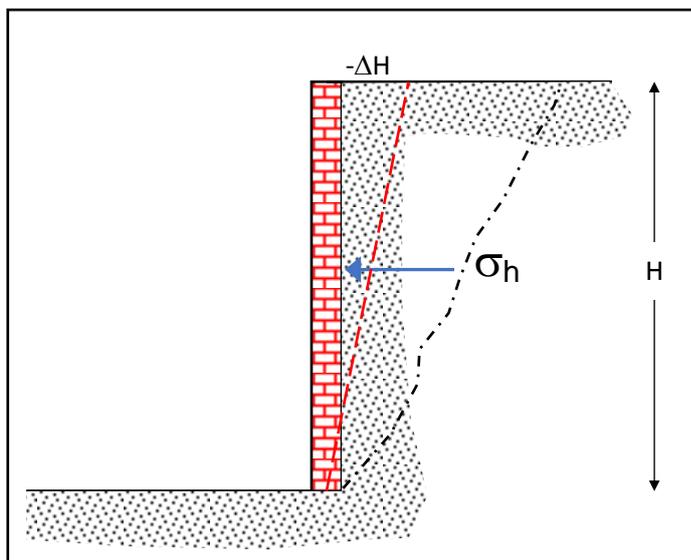


Fig.N°12: Representación de presión pasiva del suelo

## 2.6 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

El mejoramiento de las características de resistencia de los suelos, se realizan con la finalidad de mejorar su desempeño ante las cargas y mantener en el tiempo las características mecánicas necesarias para la construcción.

### 2.6.1 Respecto de la fricción interna y cohesión

La resistencia al corte de un suelo es producida por la fricción interna de sus partículas entre sí, y la cohesión, que es la otra porción de la resistencia al corte, es originada por la atracción de las partículas del suelo entre sí. Así también la cohesión puede ser real o aparente: la cohesión real se produce por la atracción molecular de las partículas, despreciable en general, y la cohesión aparente se atribuye a las finísimas películas de agua que rodean a aquellas partículas, produciendo una importante fuerza de vinculación entre ellas.

La cohesión de un suelo depende de la magnitud de las características físico-químicas de la superficie interna y del contenido de humedad. Las arcillas son ejemplo clásico de los suelos altamente cohesivos.

### 2.6.2 Respecto de la resistencia al corte

De acuerdo a Coulomb 1773, la resistencia al corte de un suelo está dada por la siguiente fórmula.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

De la fórmula se interpreta que la resistencia de los suelos se da por medio de un mecanismo friccional, la resistencia al desplazamiento relativo del suelo entre sí, y la cohesión.

La resistencia friccional aumenta si las fuerzas normales a la superficie de contacto aumentan. La cohesión es un factor motivado por la presencia del agua, las fuerzas de atracción entre las moléculas del agua, y las partículas (adhesión) y la tensión superficial. La fracción fina del suelo, especialmente la arcillosa, es la que aporta cohesión.

### 2.6.3 Respecto de la capacidad portante

Es la capacidad de resistencia de los suelos ante la acción de las cargas.

Para incrementar la capacidad de soporte de un suelo, es necesario considerar la densidad, cohesión y fricción interna, que son inherentes al suelo e independientes de las cargas.

El valor de soporte del suelo crece para valores crecientes de la densidad, cohesión, y ángulo de fricción.

### 2.6.4 Tipos de estabilizaciones

Teniendo en cuenta los factores de fricción interna, cohesión y resistencia al corte, los procedimientos de estabilización del suelo se pueden clasificar:

- Estabilización mecánica: Comprende la densificación de los suelos por medio de la compactación.
- Estabilización física: Mediante el agregado de materiales granulares o cohesivos, o ambos a la vez, se busca la granulometría adecuada.
- Estabilización físico-química: que se refiere al cambio de las propiedades del suelo por efectos físicos-químicos.

Así, se tiene las terminologías para definir el tipo de estabilización, compactación especial, estabilización granulométrica, suelo-cal, suelo-cemento, suelo-betón o estabilización con agentes químicos.

### 2.6.5 Respecto de la estabilización granulométrica

La preparación del suelo con proporciones de tamaño y cantidad pueden mejorar las propiedades del suelo, de manera que las partículas más gruesas desarrollan fricción y resistencia al impacto; las intermedias, el engranaje de la estructura; y las más finas, una fuerte cohesión de la estructura.

### 2.6.6 Respecto de la estabilización mecánica y capacidad de soporte

La estabilización mecánica del suelo consiste en ganar capacidad portante en el material, recurriendo a ciertas modificaciones en el suelo, y sin necesidad de incorporar agentes externos que modifiquen su composición.

La capacidad portante significa conferir al suelo la capacidad de resistir las cargas exteriores que se le apliquen sin que se produzcan fallas como rotura o deformaciones excesivas.

Los factores que inciden en la capacidad portante de un suelo, se deducen de la ecuación de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

La cohesión es una propiedad intrínseca del material, y la fricción interna dependiente de la carga exterior actuante.

Para un suelo granular, la forma de lograr incrementar su capacidad portante es incidiendo en el tamaño máximo de sus partículas, la granulometría y el grado de acomodamiento. El grado de acomodamiento depende de una acción exterior, que se ejerce sobre el material mediante un equipo de compactación adecuado, siguiendo una técnica conocida y probada, es decir, compactar al suelo para un mejor acomodamiento de las partículas.

### 2.6.7 Respecto de la compactación

Al compactar un suelo, el segundo término de la ecuación de Coulomb:  $\tau = c + \sigma \tan \phi$  se incrementará al haber mayor cantidad de puntos de contacto y mayor trabazón entre partículas, que generan el aumento del ángulo de fricción.

En los procesos de compactación, se emplea agua para permitir el mejor acomodamiento entre las partículas por lubricación entre ellas.

Para el caso idealizado, la estructura de suelo es capaz de retener una cierta cantidad de agua, que no drena por acción gravitacional y que se dispone en forma

de anillos cónicos aislados alrededor de cada contacto entre las partículas del suelo, como se muestra en la Figura N°13.

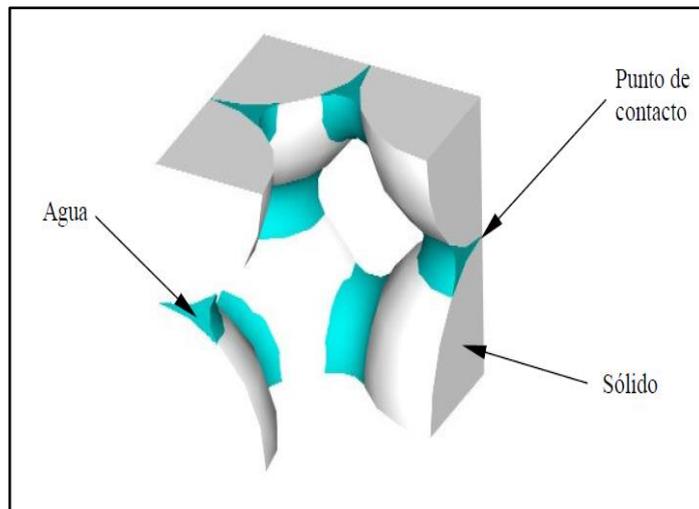


Fig.N°13: Agua que no drena por acción gravitacional

FUENTE: S. Marquez 2006

El agua retenida desarrolla la tensión superficial como se muestra en la Figura N°14, donde la fuerza  $T$  actúa en dirección tangencial a la superficie de tales anillos de agua, reteniéndola de la acción de la gravedad. Como consecuencia las partículas de suelo se mantienen unidas por este efecto.

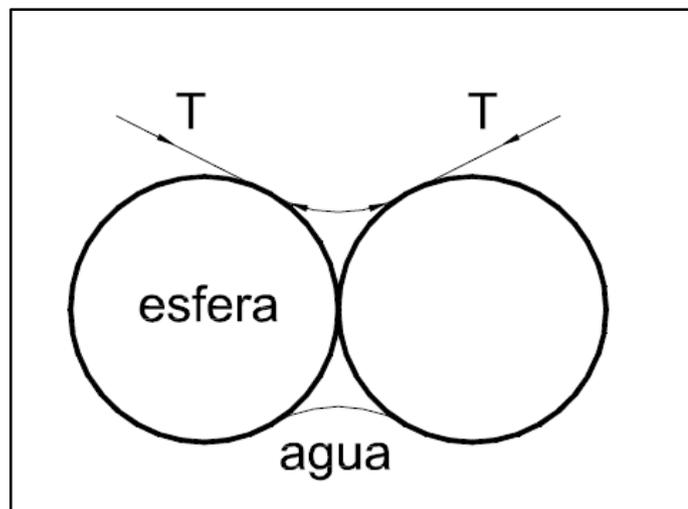


Fig.N°14: Agua retenida entre partículas que desarrolla tensión superficial

FUENTE: S. Marquez 2005

Un ejemplo a este esquema se tiene en los castillos de arena, parcialmente húmedas, donde se desarrolla la cohesión aparente dada por los anillos de agua. Esta cohesión aparente es la que mantiene unidas a las partículas de las arenas.

### 2.6.8 Respecto de la estabilización suelo-cemento y suelo-cal

La incorporación de agentes cementantes como cemento o cal, inciden sobre la cohesión del suelo, generando mayor resistencia al corte por aporte cohesivo del agente cementante, lo que finalmente deviene en el incremento de la capacidad de resistencia del suelo.

## 2.7 DISEÑO DE TALUDES DE LAS EXCAVACIONES

En el análisis de estabilidad de taludes de las excavaciones es importante determinar el factor de seguridad, que se define como:

$$FS = \frac{T_f}{T_d}$$

FS: Factor de seguridad con respecto a la resistencia

Tf: Resistencia media del suelo al corte

Td: Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

### 2.7.1 Método de equilibrio límite

Esta metodología se centraliza en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio del suelo potencialmente inestable. Este método no considera las deformaciones del suelo, considera que la resistencia al corte se da de manera total y simultánea en toda la superficie de corte.

Métodos exactos:

- ✓ Tiene solución exacta, el modelo es isostático.
- ✓ Factores de seguridad constante en toda la superficie de corte.
- ✓ Rotura planar o por cuñas.

Métodos no exactos:

- ✓ El problema es hiperestático y debe hacerse alguna simplificación.
- ✓ Métodos aproximados, por ejemplo, el método de dovelas (Fellenius, Jambu, Bishop simplificado).
- ✓ Métodos precisos, por ejemplo, el método de dovelas (Morgenstern-Prince, Spencer, Bishop riguroso, Michalowski).

### 2.7.2 Método del cálculo de deformaciones

Este método considera las deformaciones del suelo, además, las leyes de la estática. El cálculo con esta metodología es complejo por considerar las deformaciones en el suelo, por ello es necesario utilizar métodos numéricos como elementos finitos.

Esta metodología discretiza la sección del talud a analizar y se establecen los parámetros de las diferentes unidades geotécnicas ( $c$ ,  $\phi$ ,  $E$ ,  $\nu$ ), definiendo las condiciones iniciales de tensión del suelo y presencia de napa freática, y simular la secuencia constructiva.

## CAPÍTULO III: ASPECTOS GENERALES

### 3.1 DATOS GENERALES DE LA OBRA

<b>Proyecto:</b>	AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACÚTEC - ETAPA I
<b>Ubicación:</b>	VENTANILLA - CALLAO
<b>Propietario:</b>	SEDAPAL
<b>Población beneficiada:</b>	184,968 HABITANTES / 143 HABILITACIONES
<b>Supervisor / Proyectista:</b>	TYPSA – A&A / INNCIVE
<b>Consortio:</b>	CONSORCIO SADE – COSAPI (50% cada socio)
<b>Presupuesto:</b>	S/. 333,973,720.16
<b>Plazo Contractual:</b>	540 DÍAS (18 MESES) + 217DÍAS A. P.
<b>Sistema:</b>	PRECIOS UNITARIOS Y SUMA ALZADA
<b>Inicio de Ejecución:</b>	20 DE JUNIO 2014
<b>Fin de Plazo de Ejecución:</b>	15 DE JULIO 2016

### 3.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto está ubicado en el distrito de Ventanilla (Pachacutec), ubicado a 39km al noroeste de la ciudad de Lima, limitado al norte con el distrito de Santa Rosa, al sureste con el distrito de Puente Piedra y por el oeste con el océano pacífico, como muestra en la Figura N°15.



Fig.N°15: Ubicación del proyecto Pachacutec Etapa I

FUENTE: CONSORCIO SADE-COSAPI

### 3.3 OBRAS PREVISTAS EN EL PROYECTO

El proyecto está compuesto por las siguientes obras previstas:

**A. LÍNEA DE REFUERZO CHILLON**

12.68 Km Tubería. H.D. Ø 200–1000mm

**B. LÍNEAS DE AGUA POTABLE**

7.70 Km Línea de conducción

1.80 Km Línea de impulsión

16.90 Km Troncales estratégicas

TOTAL 26.40 Km Tubería HD Ø 80 – 450 mm

**C. LÍNEAS DE ALCANTARILLADO**

16 Colectores (23.95 Km)

04 L.I. de aguas residuales. (2.44 Km)

10 L.R. de reservorios (1.20 Km)

**EN TOTAL**

6.50 Km. TUB. HDPE Ø 150 – 900 mm

21.09 Km de tubería de PVC Ø 200 – 355 mm

**D. EQUIPAMIENTO HIDRÁULICO Y ELECTROMECÁNICO**

25 Estructuras a equipar

### E. OBRAS CIVILES

- 07 Reservorios proyectados
- 04 Cámaras de bombeo de desagüe
- 01 Cisterna proyectada + 01 ampliación de cisterna existente
- 03 Pozos + Cercos perimétricos

### F. REDES Y CONEXIONES DE ALCANTARILLADO

- 315.02 Km de tubería de PVC Ø 200 mm.
- 8.72 Km de tubería de PVC Ø 110 - 250 mm.
- 7,974 Buzones
- 30,828 Conexiones domiciliarias

### G. REDES Y CONEXIONES DE AGUA POTABLE

- 216.58 Km de tubería de PVC Ø 90 mm.
- 64.32 Km de tubería de PVC Ø 48 - 250 mm.
- 30,828 Conexiones domiciliarias

En la siguiente Figura N°16, se muestra Layout general del proyecto.

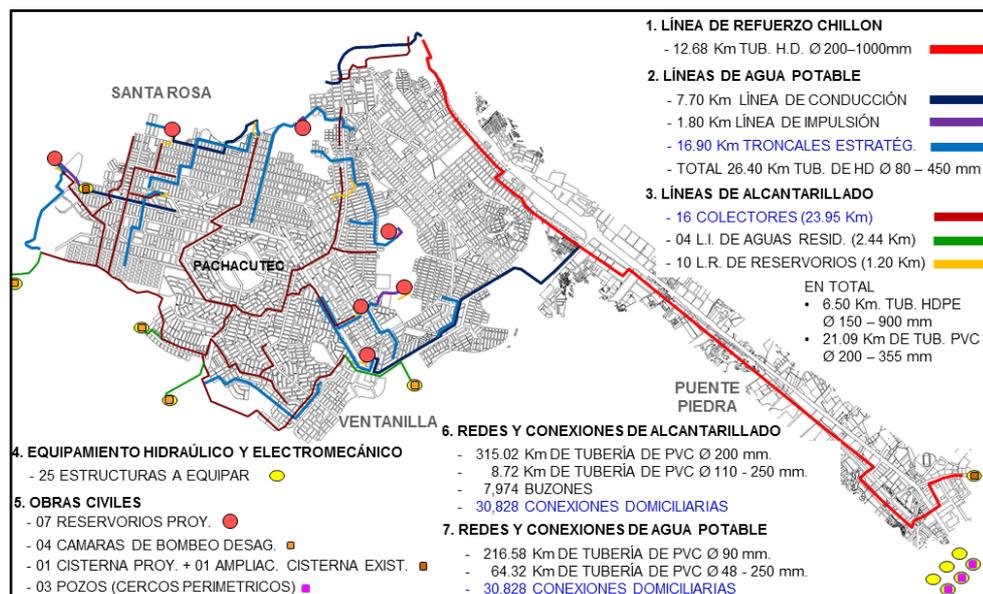


Fig.N°16: Layout general del proyecto Pachacutec Etapa I

FUENTE: CONSORCIO SADE-COSAPI

### 3.4 CONDICIONES DEL SITIO

La zona del proyecto está conformada por suelos arenosos de origen eólico y marino con afloramientos rocosos como se aprecia en la Figura N°17. Cabe indicar que, en la zona de influencia del proyecto, las vías se encuentran conformadas por

vías pavimentadas, afirmadas y condición natural (arenas), como se muestra en el Cuadro N°10.

Cuadro N°10: Estado de vías de la zona de influencia del proyecto

Tipo de vía	Porcentaje %
Pavimentada	2%
Afirmada	20%
Natural (arena)	78%

FUENTE: Consorcio SADE- COSAPI

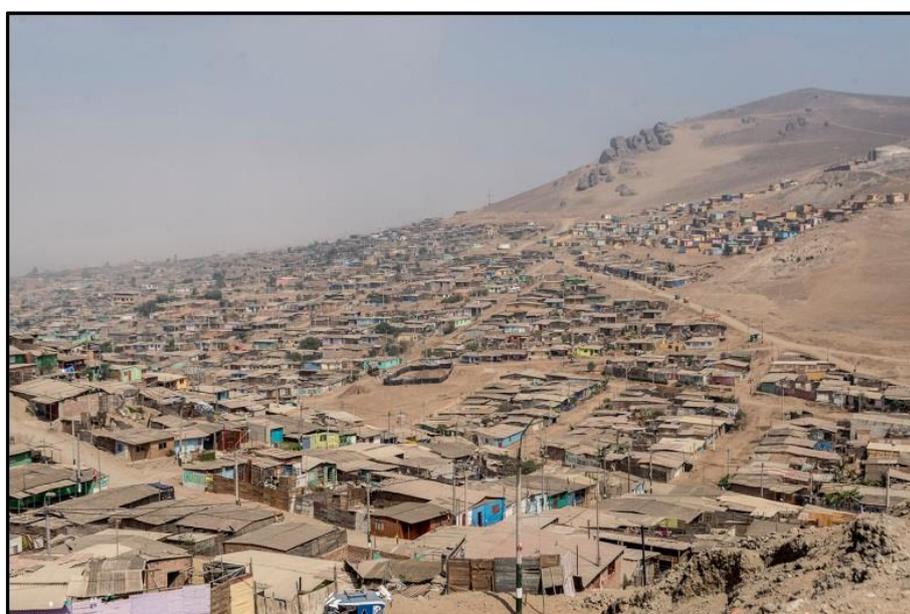


Fig.N°17: Vista general del proyecto Pachacutec Etapa I

Existen interferencias para la instalación de las redes de agua potable y alcantarillado, buzones y cámaras. Entre las principales interferencias están las calles angostas (Como se evidencia en la Figura N°18), silos ubicados en medio de las vías, conexiones clandestinas, postes, cables de electricidad y telefonía.



Fig.N°18: Calle angosta que dificulta trabajos del proyecto

En excavaciones mayores de 1.50m de profundidad, generalmente ocurren sobre excavaciones que ponen en riesgo las viviendas adyacentes y estructuras existentes como postes y redes existentes, también la afectación de todo el ancho de la vía, como se evidencia en la Figura N°19.

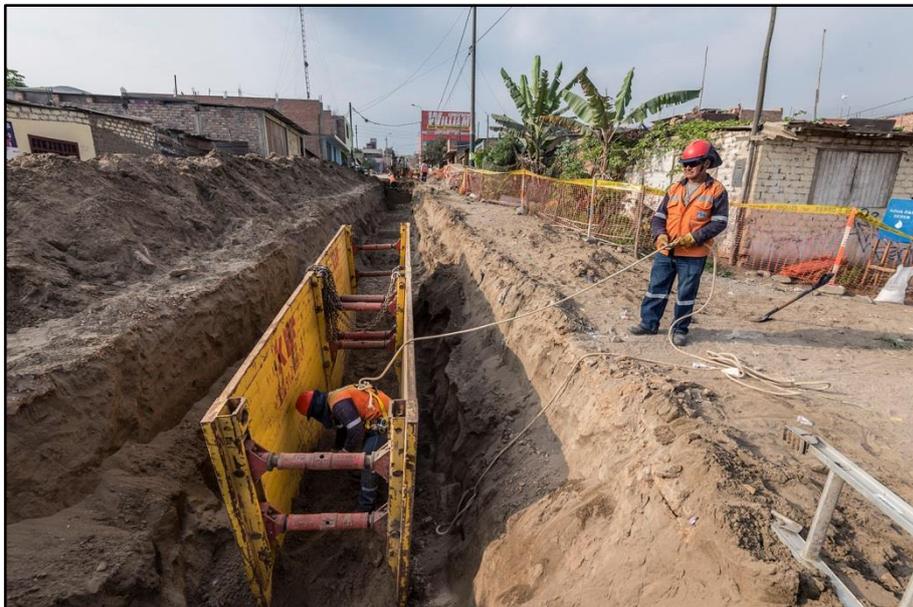


Fig.N°19: Sobre excavaciones y uso de entibados

### 3.5 ANTECEDENTES TÉCNICOS

La compactación de los suelos se realiza con el objetivo de mejorar sus propiedades de resistencia, y puedan soportar en el tiempo las cargas a las que son sometidas. Para los suelos arenosos, los investigadores coinciden en que la compactación es más eficiente usando equipos vibratorios.

Los suelos granulares carecen de cohesión; al inundarlos con agua, sus partículas tienden a estar rodeados por películas de agua, y las fuerzas intermoleculares del agua generan la tensión superficial, y para cierto grado de humedad pueden generar fuerzas de cohesión aparente en la estructura del suelo arenoso.

Sea un suelo arenoso parcialmente saturado, se muestra un modelo simplificado de este tipo de suelo en la Figura N°20, y cuando es sometido a esfuerzos externos  $\sigma$ , en los puntos de contacto entre partículas actúan cargas normales  $P$  y tangenciales  $T$ , el cociente  $T/P$  brindará un valor próximo al coeficiente de rozamiento entre partículas  $\phi$ .

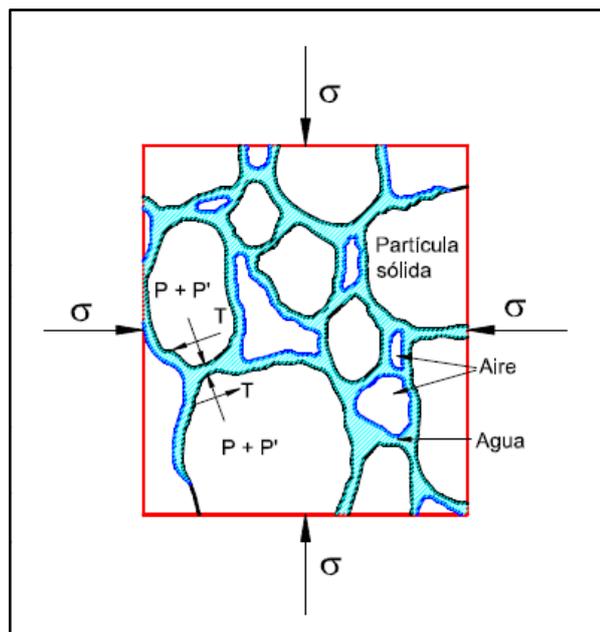


Fig.N°20: Modelo de suelo parcialmente saturado

FUENTE: S. Marquez 2005

Cuando a este sistema se someta a un incremento de carga exterior, como podría ser la compactación, aunque sea en forma isotrópica, se producirá un incremento de la carga normal  $P'$ , pudiéndose señalar las siguientes situaciones:

- $(T/P + P') < u$  el sistema se encontrará en equilibrio.

- $(T/P + P') > u$  el sistema colapsará produciéndose movimientos relativos entre partículas, hasta que el acomodamiento genere nuevos puntos de contacto que restablezca nuevamente el equilibrio.

### 3.5.1 Influencia del agua en la compactación

La norma OSHA en su parte 1926 “Las excavaciones”, subparte P app A – “Clasificación de suelos”, indica que algunos suelos granulares húmedos exhiben cohesión aparente, pueden ser moldeados en húmedo, y que al secarse fácilmente se desmoronan. Así mismo, el suelo granular pierde sus propiedades cohesivas cuando son inundados.

Mejorar las propiedades de resistencia de los suelos arenosos con agua, llamado también compactación hidráulica, se sustenta debido a las interacciones entre el agua intersticial y las partículas que componen el suelo. Al respecto William Lambe (2004) indica que el agua tiende a rodear a las partículas que componen el suelo, por ello, tienen influencia sobre la magnitud de la resistencia al deslizamiento entre las partículas del suelo, en consecuencia, estas interacciones afectan los procesos de transmisión de fuerzas; asimismo, indica que el agua intersticial puede circular a través de la masa del suelo influyendo sobre la resistencia al esfuerzo cortante y a la compresión.

J. Badillo, R. Rodriuez (2005) indica que, en suelos arenosos con cierto de grado de humedad, las fuerzas capilares producidas por el agua de los intersticios generan en la estructura del suelo una cohesión aparente, sin la necesidad de existir una presión exterior, pues la presión capilar intergranular la sustituye. Esta presión intergranular es la que genera la resistencia friccionante de la estructura del suelo. Al aumentar la humedad, los efectos capilares disminuyen y desaparecen cuando existe continuidad del agua intersticial, al no permitir la generación de presiones capilares sobre la estructura sólida de la arena.

C. Gómez (2008) en su tesis “Análisis del Efecto de la Cohesión Aparente en la Capacidad de Soportante de Cimentaciones Superficiales”, concluye que “El estudio del efecto de los diferentes grados de saturación en la cohesión de un suelo puede ampliarse con otras aplicaciones diferentes, tales como muros de retención o taludes”. Asimismo, la investigación presenta resultados de ensayos realizados en

una arena limosa SM, como se muestra en los Cuadros N°11 y N°12, y Figuras N°21 y N°22, para la relación de vacíos de  $e=0.53$  y  $e=0.51$ .

Cuadro N°11: Cohesión aparente, suelo SM ( $e=0.53$ ) vs saturación

CUADRO 8. VALORES DE COHESIÓN APARENTE PARA DIFERENTES GRADOS DE SATURACIÓN DEL SUELO 2, $e=0,53$		
Saturación (%)	Resistencia Compresión Simple (kPa)	Cohesión No Drenada (kPa)
15	27,00	13,50
28	35,00	17,50
62	55,00	27,50
70	63,00	31,50
76	70,00	35,00

FUENTE: C. Gómez 2008

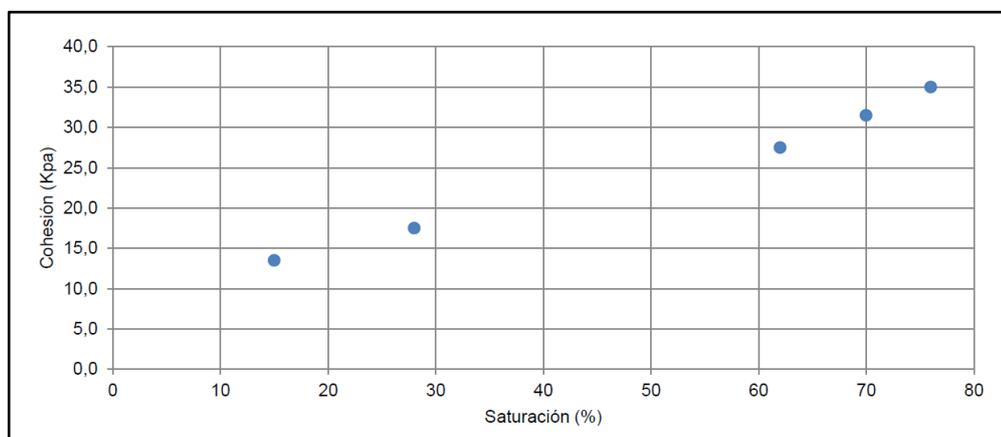


Fig.N°21: Cohesión aparente, suelo SM ( $e=0.53$ ) vs saturación

FUENTE: C. Gómez 2008

Cuadro N°12. Cohesión aparente, suelo SM ( $e=0.51$ ) vs saturación

CUADRO 9. VALORES DE COHESIÓN APARENTE PARA DIFERENTES GRADOS DE SATURACIÓN DEL SUELO 2, $e=0,51$ .		
Saturación (%)	Esfuerzo Normal Máximo (kPa)	Cohesión No Drenada (kPa)
49	85,00	42,50
59	95,00	47,50
60	82,00	41,00
61	38,00	19,00
63	42,00	21,00

FUENTE: C. Gómez 2008

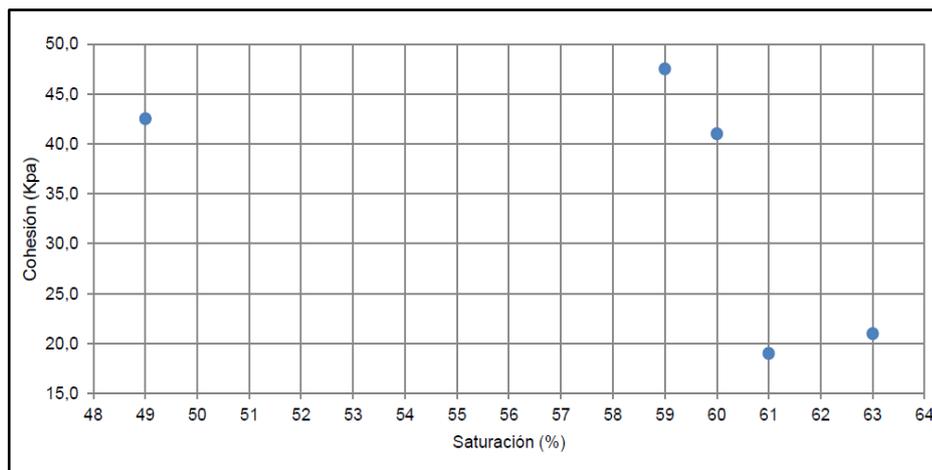


Fig.N° 22: Grafica Cohesión aparente para un suelo SM ( $e=0.51$ ) vs saturación

FUENTE: C. Gómez 2008

Al inundar con agua los suelos arenosos para mejorar sus propiedades de resistencia, Braja Das (2013) indica que, debido a la alta permeabilidad de los suelos arenosos, el drenaje intersticial va acompañado con una reducción en el volumen de la masa del suelo, pues el asentamiento elástico y la consolidación ocurren simultáneamente; asimismo, define la compactación como la consolidación por la disminución del volumen de los intersticios de la masa de suelo.

### 3.5.2 Influencia de las vibraciones en la compactación

J. Badillo, R. Rodriuez (2005), indica que en un suelo arenoso húmedo y con parte de sus intersticios conteniendo aire, la compactación por vibración no es efectiva; inclusive pudiendo hacer que aumente el volumen, dilatación por vibración, ante vibraciones bruscas.

Respecto del efecto de la compactación de suelos arenosos con equipos vibratorios K. Rainer Massarsch (2007) indica que los beneficios de compactación por vibración en suelos granulares, genera efectos de sobre consolidación permanente; así también indica que compactar a la frecuencia de resonancia, aumenta la eficiencia de la densificación.

Carl Wersäll (2013) en su tesis "Influence of Frequency of Compaction of Sand in Small-Scale Tests", investiga la influencia de la frecuencia en la compactación de suelos arenosos, y si la resonancia del sistema suelo-equipos puede ser utilizada para aumentar la eficiencia de la compactación. Para tal objetivo, modela a pequeña escala el sistema suelo-equipos como se muestra en la Figura N°23, y hace diversas pruebas para cuantificar la influencia de la frecuencia, la carga dinámica y contenido de agua del suelo. Para modelar el sistema dinámico realiza

un procedimiento de cálculo lineal equivalente al sistema suelo-equipo, y controlar la frecuencia. Los resultados que obtiene los compara con los obtenidos del modelo a pequeña escala.



Fig.N°23: Modelo suelo-equipo para medir la influencia de la frecuencia en la compactación

FUENTE: Carl Wersäll 2013

Los resultados de las investigaciones de Carl Wersäll (2013), indican que la compactación del suelo arenoso con una placa vibratoria depende de la frecuencia, y que la compactación se mejora cerca de la frecuencia de resonancia como muestra en la Figura N°24. Cuando la fuerza dinámica es alta, la amplificación resonante no es considerable durante la compactación, debido principalmente a la deformación causada por un alto amortiguamiento; además que concluye que ninguna cantidad dinámica regula únicamente el grado de compactación; asimismo, el contenido de agua de las arenas no tienen ningún efecto apreciable sobre el comportamiento dinámico de sistema como se muestra en la Figura N°25, sin embargo, tiene un efecto positivo sobre el grado de compactación.

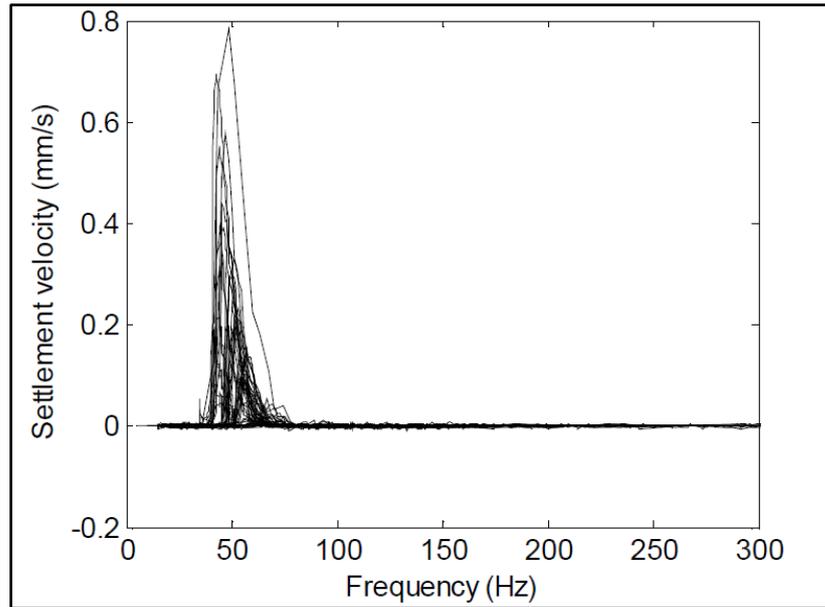


Fig.N° 24 Velocidad de desplazamiento en ensayos utilizando oscilador electrodinámico

FUENTE: Carl I Wersäll 2013

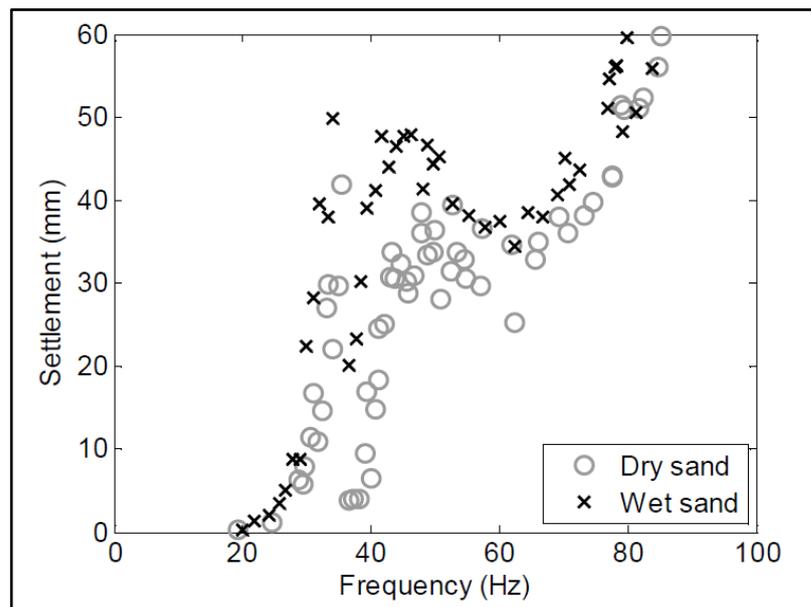


Fig.N°25: Grafica de asentamiento total en ensayos con arena seca y húmeda

FUENTE: Carl I Wersäll 2013

Del estudio “MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA DEL DISTRITO DE VENTANILLA”, de Z. Aguilar y D. Calderón, para el Distrito de Ventanilla, zonifica en cuatro zonas como se describe en el Cuadro N°13 y se muestra en la Figura N°26.

Cuadro N°13: Zonificación sísmica del distrito de Ventanilla

Zona	Periodo (s)	Tipo de suelo	Factor de amplificación sísmica	Periodo natural del suelo (s)
I	0.1 – 0.3	Depósitos coluviales S1.	S=1.0	0.4
II	0.3 - 0.5	Estratos de arena que cubre las formaciones rocosas S2.	S=1.2	0.6
III	0.5 – 0.7	Depósitos de arenas eólicas de gran espesor S3.	S=1.4	0.9
IV	>0.7	Conformada por suelos pantanosos y depósitos de arenas sueltas de gran espesor S4.	S=1.6	1.2

FUENTE: Z. Aguilar y D. Calderón

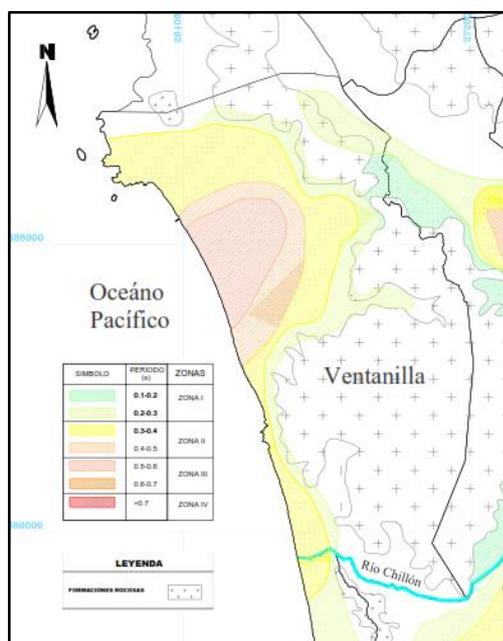


Fig.N°26: Grafica de zonificación sísmica del distrito de Ventanilla

FUENTE: Z. Aguilar d. Calderón

De la Figura N°26 se puede inferir que la zona del proyecto corresponde a la zona II y Zona III según la zonificación sísmica del distrito de Ventanilla realizada por Z. Aguilar y D. Calderón.

## **CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA ZONA EN ESTUDIO**

### **4.1 FORMACIONES GEOLÓGICAS**

La zona del proyecto comprende la sucesión de estratos que está representada por unidades litológicas cuyas edades comprenden desde el Mesozoico hasta el Cenozoico.

Los depósitos cuaternarios en la zona del proyecto, están conformados principalmente por arenas eólicas de procedencia marina. Estos depósitos eólicos cubren la superficie y la rellenan con espesores variables, de mayor potencia en los llanos y potencia ínfima en las cumbres de los cerros.

### **4.2 GEOMORFOLOGÍA**

La zona del proyecto comprende las siguientes unidades morfológicas:

#### **4.2.1. Estribaciones de la cordillera occidental**

Conformada por cerros pronunciados que toman notoriedad hacia la zona oriental del proyecto; con altitudes que varían entre 400 a 1200msnm, constituidas por rocas intrusivas batolitos propios de la costa, derrames andisíticos y rocas sedimentarias de origen volcánico.

#### **4.2.2. Colinas y llanura pre andina**

Conformada por una cadena de cerros alienada a la costa y de altitud entre 50 a 400msnm, constituidas por rocas andesitas fracturadas y de mayor influencia en el proyecto; se aprecian en los cerros Orana, Grande, Palo y Cachito.

#### **4.2.3. Lomadas onduladas**

Comprende sectores de migración de arenas. Se caracteriza por sus superficies onduladas. En la zona del proyecto se acentúan con mayor notoriedad en el lado oeste y representan la mayor extensión, constituida principalmente por arenas de origen eólico de potencia variable.

#### **4.2.4. Valles y quebradas**

Comprende las cercanías al río Chillón y algunas quebradas áridas.

#### **4.2.5. Borde litoral**

Corresponde al borde litoral, constituidos por depósitos marinos, eólicos y bofedales.

### 4.3 LITOESTRATIGRAFÍA

La zona del proyecto se ubica en el cuadrángulo 24-i (Chancay) de acuerdo a la carta Geológica Nacional. Su basamento está conformado por rocas volcánicas andesitas del Cretácico inferior, que están cubiertos por depósitos eólicos y aluviales del Cuaternario.

Los depósitos cuaternarios se extienden mayoritariamente en la zona del proyecto. Presentan diferencias en su origen, edad, composición y espesor. En las cercanías a los cerros tienen un espesor de 1m, mientras que, en las lomadas onduladas y conos deyeectados, los espesores son mayores a 2m.

Se distinguen los siguientes depósitos:

#### 4.3.1 Depósitos eólicos (Qr-e)

Son materiales transportados por acción del viento hacia las lomadas y cerros aledaños de la zona del proyecto como se muestra en la Figura N°27, constituidas por arenas de grano fino a mediano de espesor variable.



Fig.N°27: Depósitos eólicos Ventanilla

#### 4.3.2 Depósitos marinos (Qr-m)

Presentes en la franja de la costa. Tienen prolongación hacia las partes bajas del Cerro Cachito: ver Figura N°28, zona de los humedales. Está constituida por arenas gravas en matriz arenosa.



Fig.N°28: Depósito marino Ventanilla-Cerro Cachito

#### 4.3.3 Depósitos coluviales (Qr-c)

De extensiones puntuales en la zona que comprende el proyecto, presentes al pie de laderas de afloramientos de andesitas altamente intemperizada. Está constituida por fragmentos, gravas, angulosas y matriz arenosa. Por ejemplo, el Cerro Gorila como se muestra en la Figura N°29.



Fig.N°29: Cerro Gorila

#### 4.4 PARÁMETROS FÍSICOS

De los ensayos de verificación realizados en la zona del proyecto, los suelos arenosos se caracterizan por ser pobremente gradados con presencia de limos de compacidad baja a media, cuyo contenido de humedad promedio es 6% y densidad mínima de 1.43 gr/cm<sup>3</sup>, y densidad máxima de 1.75 gr/cm<sup>3</sup> en promedio.

Se muestra la Figura N°30 el contenido de humedad natural de muestras de suelo obtenidas en ubicaciones distintas.

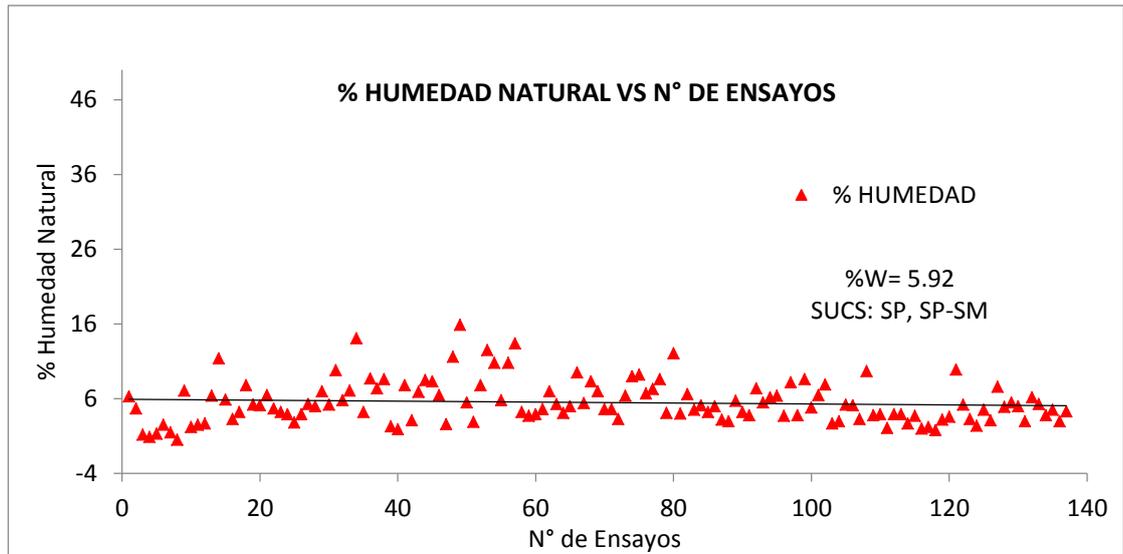


Fig.N°30: Humedad natural vs N° de ensayo

Asimismo, la Figura N°31 se muestra las densidades máximas y mínimas de los suelos naturales.

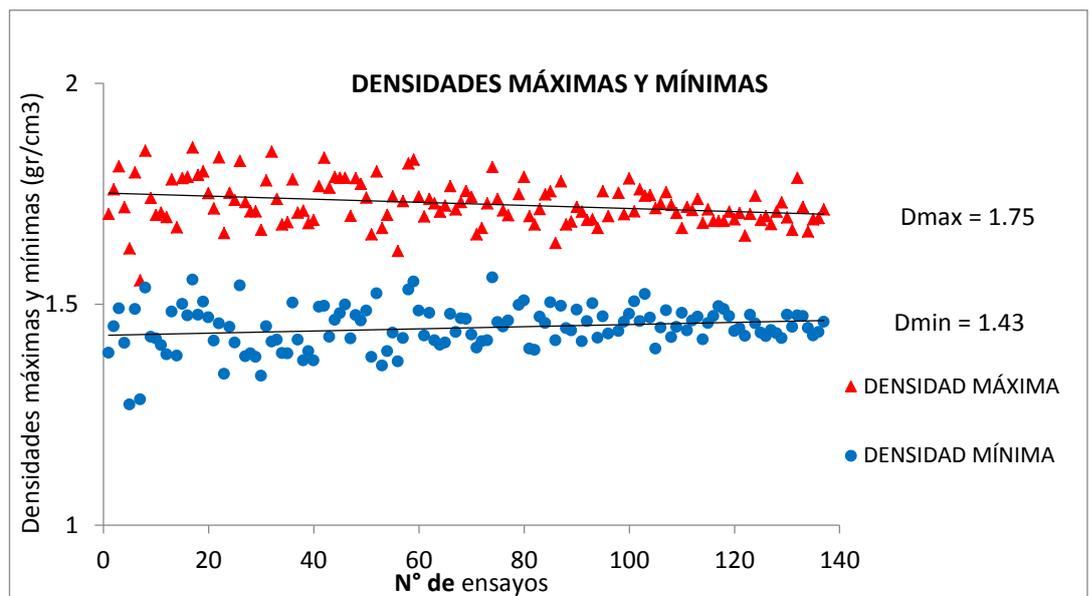


Fig.N°31: Densidades max y min vs N° de ensayo

#### 4.5 PARÁMETROS MECÁNICOS

De las verificaciones realizadas en obra y del expediente técnico, se tiene que las arenas que conforman el suelo de fundación para las obras del proyecto, tienen un ángulo de fricción que varía entre 27° a 33° y cohesión 0.00kg/cm<sup>2</sup>.

Cuadro N°14: Ángulos de fricción y cohesión

Ítem	Ubicación de prospección	SUCS	Cohesión kg/cm <sup>2</sup>	Ángulo de fricción Ø
1	RAP-01/AV. 200 MILLAS CRUCE CON AV. LOS MATERIALES	SP	0	32.5
2	CDP-01/ AV. NESTOR GAMBETTA	SP	0.07	30.7
3	CDP-03 / ZONA DE PLAYAS COSTA AZUL	SP-SM	0.05	32.3
4	CDP-04 / ZONA DE PLAYAS COSTA AZUL	SP	0.05	32.7
5	CDP-03 SALA DE TABLEROS / ZONA DE PLAYAS COSTA AZUL	SP	0	29.19
6	RAP-02/C-608	SM	0	27
7	CDP-04 / SPT-12A	SM	0	31
8	CD-E1 / SPT	SM	0	28
9	C-548	SM	0	27
10	C-567	SP-SM	0	28
11	C-588	SM	0	27
12	SPT-1	SM-SC	0	32
13	RAP-1	SP-SM	0	33
14	RAP-3	SP-SM	0	31
15	RAP-7	SP-SC	0	32
16	SPP-2	SP-SM	0	33
17	SPT-3	SM	0	31
18	SPT-4	SP-SM	0	33
19	SPT-5	SP-SM	0	33
20	SPT-6	SP-SM	0	33

FUENTE: EETT del proyecto y verificación.

## CAPÍTULO V: PRECOMPACTACIÓN CON AGUA EN ARENAS

Mejorar las propiedades de resistencia de los suelos arenosos mediante inundación con agua, compactación hidráulica, con el objetivo de conseguir taludes estables en las excavaciones para la instalación de tuberías en redes de agua potable y alcantarillado. Asimismo, superar los ratios de producción al emplear metodologías tradicionales ceñidas a la normatividad, y empleando volúmenes de agua determinados para la presente investigación se denomina precompactación.

Los factores a considerar y que influirán en el proceso de precompactación son la profundidad de excavación, el tiempo de infiltración, la dimensión de las arrocetas y el volumen de agua a emplear.

### 5.1 PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN

La profundidad de excavación estará definida por el diseño hidráulico, es decir por la profundidad de instalación de las tuberías de las redes de alcantarillado o líneas de agua potable.

Es importante conocer previamente la profundidad de excavación, pues se podrá determinar el volumen de agua a emplear y obtener el contenido de humedad necesario a la profundidad de instalación de la tubería que sustente el procedimiento empleado.

### 5.2 TIEMPO DE INFILTRACIÓN

Su importancia radica en determinar el tiempo requerido para que el volumen de agua a emplear filtre por gravedad hasta el fondo de la excavación prevista, de manera que el agua presente en la estructura del suelo este contenida en los intersticios, para aprovechar los efectos tensoriales en la interacción del agua intersticial y las partículas de arena, y generar la cohesión aparente en la estructura del suelo arenoso.

### 5.3 DIMENSIONES DE LAS ARROCETAS

Para determinar las dimensiones de las arrocetas a través del cual el volumen de agua a emplear se infiltrará por gravedad hasta la profundidad deseada, y tener como consecuencia un bulbo de arena precompactada. Se dimensionará en base al volumen de agua requerido y dimensiones de equipos a utilizar. Se muestra el esquema general de las arrocetas en la Figura N°32.

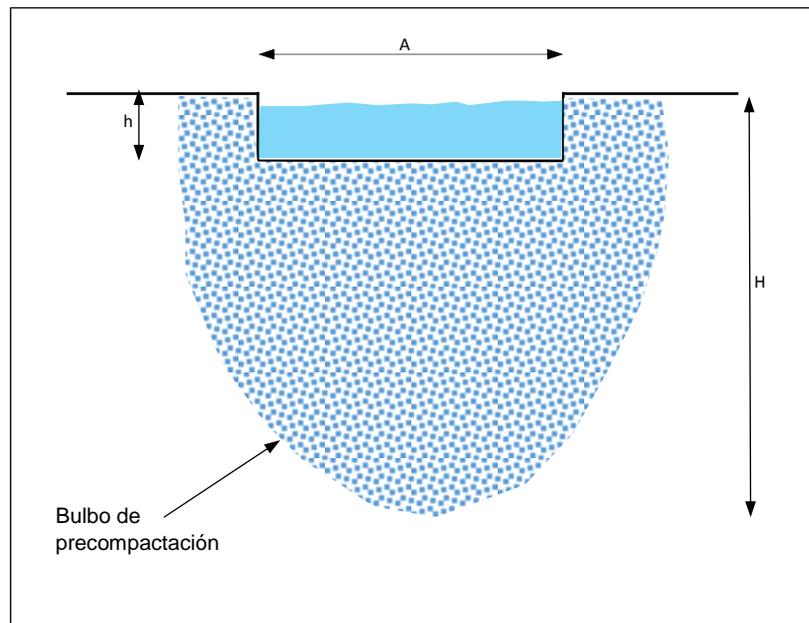


Fig.N°32: Esquema de arroceras

$h$ : Profundidad de arrocera.

$A$ : Ancho de arrocera.

$H$ : Profundidad de infiltración.

#### 5.4 MODELAMIENTO DE LA EXCAVACIÓN

El modelamiento de la excavación se realizará dentro del bulbo de precompactación, que dependerá de la profundidad de instalación de la tubería, como se indica en la Figura N°33.

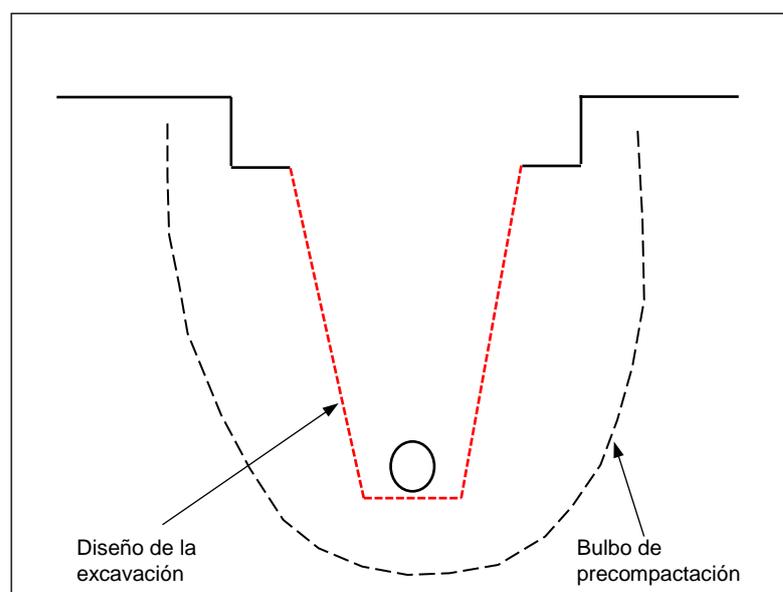


Fig.N° 33: Esquema de modelamiento de excavación

## CAPÍTULO VI: PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN Y LA PRECOMPACTACIÓN

Para aprovechar los efectos tensoriales del agua intersticial, la cohesión aparente y compactación por vibración en suelos arenosos, es necesario determinar el volumen de agua a emplear para mejorar las propiedades de resistencia del suelo, que permita taludes estables a la profundidad de instalación; asimismo, es necesario establecer la profundidad de excavación hasta la cual los efectos de la compactación por vibración, sin empleo de agua, permita taludes estables.

### 6.1 PRECOMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN

Es necesario definir el equipo de compactación por vibración, determinar la frecuencia de compactación, número de pasadas y establecer hasta qué profundidad los efectos de la vibración permiten el modelamiento de la excavación sin racionar volúmenes de agua para mejorar las propiedades de resistencia. Se muestra el esquema de precompactación por vibración en la Figura N°34.

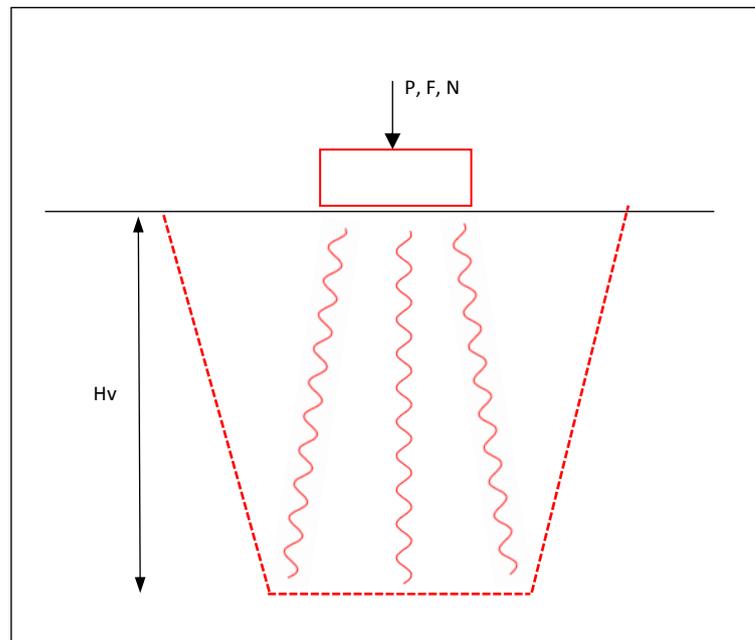


Fig.N°34: Esquema de precompactación por vibración

P: Peso del equipo de compactación

F: Frecuencia de vibración de equipo de compactación

Hv: Profundidad de excavación con mejoramiento por vibración

N: Número de pasadas

## 6.2 PRECOMPACTACIÓN CON AGUA Y VIBRACIÓN

Con el objetivo modelar y realizar excavaciones a mayores profundidades, se plantea el mejoramiento de los suelos arenosos por vibración y compactación hidráulica, para lo cual es necesario racionar el volumen de agua a emplear, definir el equipo a emplear. En la Figura N°35 se muestra el esquema del modelamiento a plantear.

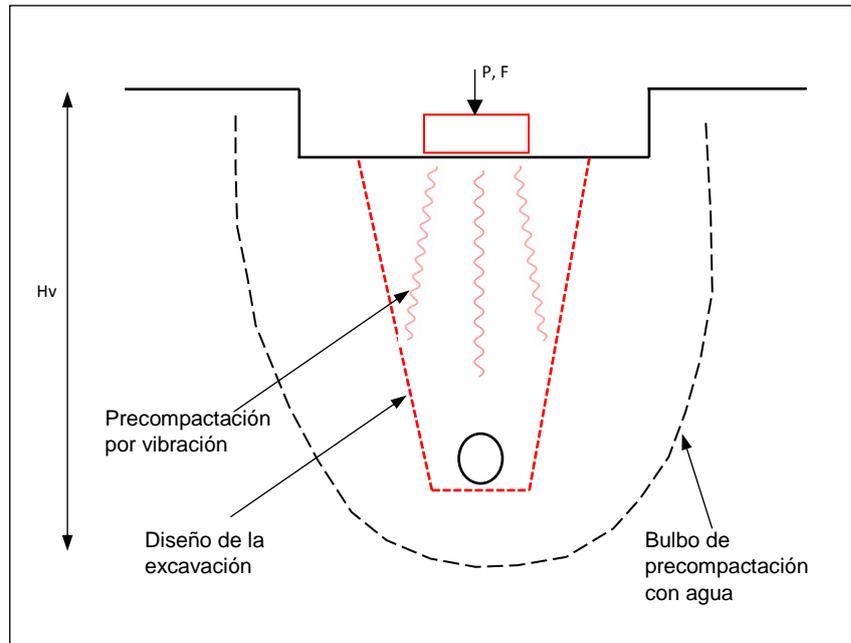


Fig.N°35: Esquema de precompactación con agua y vibración

P: Peso del equipo de compactación

F: Frecuencia de vibración de equipo de compactación

$H_v$ : Profundidad de excavación con mejoramiento por vibración

N: Número de pasadas del equipo de compactación

CW: Cantidad de agua

## CAPÍTULO VII: NORMATIVIDAD

El presente capítulo hace referencia a las normas aplicables a trabajos de excavación, donde se indican los cuidados y recomendaciones aplicables en este tipo de proyectos; asimismo, resalta aquellas normas referentes a excavaciones en obras de saneamiento.

### 7.1 RESPECTO DE LA NORMA E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES

La norma E.050 indica en su ARTÍCULO 39.- SOSTENIMIENTO DE EXCAVACIONES: “Las excavaciones verticales de más de 1,50 m de profundidad, ..., requeridas para alcanzar los niveles del proyecto (zanjas, sótanos y cimentaciones), no deben permanecer sin sostenimiento, salvo que el EMS realizado por el PR determine que no es necesario efectuar obras de sostenimiento.”

“Los materiales productos de la excavación deben ser acumulados a una distancia no menos de 2 m del borde de la excavación, a menos que el PR indique una distancia mayor”

Para excavaciones sin estructuras de sostenimiento, la norma E.050 indica que:

“No se permiten excavaciones sin soporte cualquiera fuera su profundidad, si las mismas reducen la capacidad de carga o producen inestabilidad en las cimentaciones vecinas.

El PR determina, si procede, la profundidad máxima o altura crítica (Hc) a la cual puede llegar la excavación sin requerir soporte.”

Para el monitoreo de las excavaciones, la norma E.050 indica:

“El constructor efectúa de manera permanente el monitoreo de los trabajos de toda la excavación y verifica o no deformaciones en las estructuras adyacentes existentes a fin de tomar las medidas correctivas del caso de manera oportuna.”

Respecto el control de calidad de los sistemas de sostenimiento, la norma E.050 indica:

“La supervisión bajo su responsabilidad está obligada a verificar las pruebas que se efectúen para garantizar la calidad de todos los elementos que se empleen en los sistemas de sostenimiento.”

Respecto de los tipos de sostenimiento, la norma E.050 indica:

“Existen diversos tipos de sostenimiento: provisional o definitivo, para los taludes de corte, entre los cuales podemos mencionar: entibaciones, muros anclados, tablaestacados, pilotes secantes, pilotes anclados, muros diafragma, muros pantalla, calzaduras, pernos de anclaje, cortinas de micropilotes, jet grouting, entre otros.”

Asimismo, respecto de la estabilidad global, la norma E.050 indica:

“El análisis de estabilidad global de una estructura de sostenimiento considera como mínimo los siguientes aspectos: el proceso constructivo del sistema de

sostenimiento, la geometría de la excavación, sobrecargas actuantes, efectos sísmicos, las condiciones generales del terreno, las propiedades físico-mecánicas de los estratos de los suelos y rocas, esfuerzos preexistentes e inducidos y los niveles freáticos.

La estabilidad global de las estructuras de sostenimiento, temporal o permanente, contempla un F.S mínimo de 1.50 en condición estática y 1.25 en condición pseudo - dinámica; en ambos casos respecto al estado límite del suelo.”

## 7.2 RESPECTO DE LA NORMA G.050 SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Además de las consideraciones de prevención que se debe tener durante las excavaciones, la norma G.050 en su punto 23, referente a las excavaciones indica lo siguiente:

- El material producto de las excavaciones de las zanjas, se evitarán acumular a menos de 2 metros del borde de la zanja, para lo casos en que las zanjas se realicen en terrenos estables.
- La definición y diseño de un sistema de soporte en las excavaciones se realizará en base a un análisis detallado de los siguientes factores:
  - Profundidad de corte
  - Cambios previstos del suelo debido al aire, sol y agua.
  - Movimiento del suelo por vibraciones originadas por vehículos o voladuras.
  - Empuje del suelo.

Asimismo, para la instalación de barreras la Norma G.050 indica lo siguiente:

“Se debe instalar los entibamientos, apuntalamientos o tablaestacados para evitar riesgos en la zona del trabajo y en zonas colindantes (edificaciones, vías públicas, etc.) de acuerdo al análisis de trabajo (estudio de suelos). Ver anexo I.”

El anexo I de la norma G.050 es referente a las excavaciones, informativo como indica la misma norma, se divide en tres partes que se describen a continuación:

### 7.2.1 Respecto del anexo i.1 modelos para diseños de taludes

Esta parte I.1 del anexo I de la norma G.050, indica los taludes máximos permitidos de acuerdo al tipo de suelo o estratos que lo conforman. Clasifica al suelo en tres

grupos: A, B y C, cuya descripción y características de los mismos se indican en las normas OSHA.

Se presenta el Cuadro N°15 de modelos para el diseño taludes recomendados:

Cuadro N°15: Modelos para diseño de taludes

ítem	Descripción	Tipo de suelo	Talud máximo permitido H:V	Profundidad máxima (m)
1	Talud simple general	A	¾ : 1	6.0
2	Talud simple – Tiempo corto.	A	½ : 1	3.6
3	Banqueta simple (altura máxima de banqueta 1.2m desde el fondo de excavación).	A	¾ : 1	6.0
4	Banqueta múltiple (altura máxima de primera banqueta 1.2m, de las siguientes 1,5m máximo).	A	¾ : 1	6.0
5	Porción más baja verticalmente con talud sin soporte. ( altura máxima de porción vertical 1.05m)	A	¾ : 1	2.4
6	Porción más baja verticalmente con soporte. (Soporte/apoyo debe extenderse 0.46m sobre el lado vertical).	A	¾ : 1	6.0
7	Talud simple	B	1 : 1	6.0
8	Banqueta simple, solo para suelos cohesivos (altura máxima de banqueta 1.2m desde el fondo de excavación).	B	1 : 1	6.0
9	Banqueta múltiple solo para suelos cohesivos (altura máxima de primera banqueta 1.2m, de las siguientes 1,5m máximo).	B	1 : 1	6.0
10	Porción más baja verticalmente con soporte. (Soporte/apoyo debe extenderse	B	1 : 1	6.0

ítem	Descripción	Tipo de suelo	Talud máximo permitido H:V	Profundidad máxima (m)
	0.46m sobre el lado vertical).			
11	Talud simple	C	1.5 : 1	6.0
12	Porción más baja verticalmente con soporte. (Soporte/apoyo debe extenderse 0.46m sobre el lado vertical).	C	1.5 : 1	6
13	Estratos superpuestos (Estrato B sobre estrato A).	B/A	B – 1 : 1 A – ¾ : 1	6.0
14	Estratos superpuestos (Estrato C sobre estrato A).	C/A	C – 1.5 : 1 A – ¾ : 1	6.0
15	Estratos superpuestos (Estrato C sobre estrato B).	C/B	C – 1.5 : 1 B – 1 : 1	6.0
16	Estratos superpuestos (Estrato A sobre estrato B).	A/B	A – 1 : 1 B – 1 : 1	6.0
17	Estratos superpuestos (Estrato A sobre estrato C).	A/C	A – 1.5 : 1 C – 1.5 : 1	6.0
18	Estratos superpuestos (Estrato B sobre estrato C).	B/C	A – 1.5 : 1 C – 1.5 : 1	6.0

FUENTE: Norma G.050

\*Clasificación referencial de suelos (tipo A, B y C) según OSHA (Occupational Safety & Health Administration).

### 7.2.2 Respecto del anexo i.2 modelos de entibados

La parte I.2 del anexo I de la norma G.050 indica los componentes mínimos del sistema de apuntalamiento en las excavaciones, como se menciona a continuación:

- Refuerzo vertical
- Protección
- Larguero

## – Refuerzo en cruz

Así también indican el tipo de madera roble y abeto, sus resistencias a la flexión, las dimensiones a considerar respecto del tipo de suelo A, B y C; como se muestra en el cuadro N°16.

Cuadro N°16: Tipo de madera para entibados

Tabla OSHA	Tipo de Suelo	Dimensiones de la madera	Tipo de madera (resistencia a la flexión)
C-1.1	A	Actual*	Roble mezclado equivalente ( $F_b=850$ psi)
C-1.2	B	Actual	
C-1.3	C	Actual	
C-2.1	A	Nominal**	Abeto o equivalente ( $F_b=1500$ psi)
C-2.2	B	Nominal	
C-2.3	C	Nominal	

FUENTE: Norma G.050

## 7.2.3 Respecto del anexo i.3 requisitos mínimos de la madera según el tipo de suelo

La parte I.3 de anexo I de la norma G.050 indica los requisitos y dimensiones de la madera a usar en los sostenimientos en función a las dimensiones de la excavación y tipos de suelo A, B o C, según la clasificación OSHA; asimismo, los aspectos que considera e indica la norma son los siguientes:

- Profundidad de la zanja.
- Ancho de la zanja.
- Puntales, su espaciamiento horizontal y vertical.
- Largueros, su espaciamiento y dimensiones.
- Espaciamiento de los refuerzos.

## 7.3 RESPECTO DE LA NORMA OCCUPATIONAL SAFETY &amp; HEALTH ADMINISTRATION (OSHA)

La norma OSHA en la supparte “1926 P – Las excavaciones” menciona que los trabajadores deben estar protegidos en las excavaciones por un sistema de protección adecuado y diseñado de acuerdo a los apartados (b) y (c) de la sección:

“1926.652 Requisitos para sistemas de protección”; exceptuando cuando las excavaciones son hechas en roca estable o excavaciones con menos de 1.52m de profundidad, además de la evaluación de un profesional competente que descarte un posible derrumbe.

### 7.3.1 Respecto del apartado (b): Requisitos para sistemas de protección

En este apartado se indica los requisitos de diseño de sistema de taludes y banquetas, que serán definidos por el contratista. Además, presenta cuatro alternativas para definir el diseño de las excavaciones.

- Opción 1 - Configuración y pendientes permitidas: Las excavaciones deberán tener un talud no más pronunciado que  $34^\circ$ , a menos que se utilice configuraciones de taludes de acuerdo al Apéndice B para el tipo de suelo C.
- Opción 2 – Determinación de pendientes: Las configuraciones de las excavaciones se realizarán usando los Apéndices A y B, que indica las máximas pendientes permitidas de los taludes y sistemas de banquetas a usar.
- Opción 3 – Diseño utilizando datos tabulados: El diseño de las excavaciones usando datos tabulados, tablas y ábacos, donde se identificarán los parámetros con los que se definirá las pendientes de los taludes o sistemas de banquetas; asimismo, este apartado indica la importancia de la identificación de las limitaciones del uso de estos datos tabulados y la necesidad de información explícita que facilite la toma de datos; además, indica tener una copia de los datos tabulados e identificación del profesional responsable que aprobó los datos, debe mantenerse en el lugar de la excavación durante la construcción del sistema de protección.
- Opción 4 – Diseño por un ingeniero responsable: Los sistemas de taludes y banquetas que no consideren las Opciones (1), (2) y (3) deberán ser aprobados por el PR registrado.

Se debe mantener al menos una copia del diseño de la excavación en el lugar de trabajo, mientras se ejecuta la excavación.

### 7.3.2 Respecto del Apartado (c): Requisitos para sistemas de protección

Este apartado hace referencia al uso de los entibados o sistemas de protección, que son responsabilidad del empleador y el PR que diseña, de acuerdo a las siguientes opciones:

- Opción 1 - Diseño usando apéndices A, C y D: Los diseños para entibaciones de madera en zanja de acuerdo con las condiciones y requisitos establecidos en los apéndices A y C, los diseños de apuntalamiento hidráulico de aluminio, se puede usar datos tabulados del fabricante, de acuerdo al apéndice D.
- Opción 2 – Diseños con datos tabulados del fabricante: De acuerdo a las recomendaciones, especificaciones y limitaciones emitidas o hechas por el fabricante.
- Opción 3: Diseño utilizando datos tabulados: Para sistemas de apoyos, escudos u otros sistemas de protección que deben ser seleccionados.
- Opción 4 – Diseño por un profesional registrado: Los sistemas de soporte, que no utilicen la opción 1, 2 u opción 3, deberán ser aprobados de acuerdo al diseño de un ingeniero profesional registrado PR.

### 7.3.3 Respecto del apéndice A: Clasificación de Suelos

Las definiciones que enmarcan este apéndice se basan en normas de la American Society for Testing Materials (ASTM D653-85 y D2488), el Sistema de Clasificación de Suelos Unificado (SUCS), Oficina Nacional de Normas Informe BSS-121 entre otros.

Este apéndice realiza descripciones y definiciones como suelo cementado, suelo cohesivo, suelo seco, suelo granular, suelo húmedo, roca fija entre otras definiciones y descripciones, donde se propone una metodología para categorizar los depósitos de suelo y roca de acuerdo a la estabilidad decreciente: Roca estable, Tipo A, Tipo B y Tipo C.

Roca estable:

Puede ser excavado con lados verticales y permanecer intacta mientras está expuesto.

Suelo tipo A:

Suelos cohesivos con una resistencia no confinada a la compresión  $\geq 144$  kpa. Ejemplos de estos suelos son arcillas, arcilla limosa, arcilla arenosa, franco arcilloso

y, en algunos casos, arcilla franco limosa y arcilla arenosa; suelos cementados como caliche y la capa dura también se considera tipo A.

Sin embargo, ningún suelo es tipo A si:

- (I) El suelo es agrietado.
- (II) El suelo está sujeta a la vibración del tráfico pesado, hincado de pilotes o efectos similares.
- (III) El suelo ha sido previamente alterado.
- (IV) El suelo es parte de un sistema de taludes en capas donde el talud de excavación tiene una pendiente (V:H – 1:4) o mayor.
- (V) El suelo está sujeto a otros factores que requieran para ser clasificado como un suelo menos estable.

Suelo tipo B:

- (I) Suelos cohesivos con una resistencia a la compresión no confinada  $\geq 48$ kpa, pero  $\leq 144$  kpa.
- (II) Suelos granulares sin cohesión que incluyen: grava granular (similar a roca triturada), limo, franco limoso, franco arenoso y, en algunos casos arcilla franco limosa marga y arcilla franco arenosa.
- (III) Suelos alterados, excepto los clasificados como suelo tipo C.
- (IV) El suelo que se encuentra con la resistencia a la presión no confinada o cementación con requerimientos para el tipo A, pero esta fisurada o sujeta a vibración.
- (V) La roca seca que no es estable.
- (VI) El material que es parte de un sistema de taludes en capas donde las capas sumergidas en la excavación en un talud menos pronunciado de (V:H–1:4), pero solo si el suelo puede ser clasificado como tipo B.

Suelo tipo C:

- (I) Suelos cohesivos con una resistencia a la compresión no confinada de  $\leq 48$ kpa.
- (II) Suelos granulares que incluyen grava, arena y arena arcillosa.
- (III) Suelo saturado.
- (IV) Roca con presencia de filtraciones que no es estable.
- (V) Material en un sistema inclinado en capas donde las capas entran en la excavación con una pendiente (V:H - 1:4) o más pronunciada.

#### 7.3.4 Respecto del apéndice B: Pendientes y paredes verticales

Este apéndice contiene especificaciones para las pendientes de los taludes y paredes verticales, usado como metodologías de protección para trabajadores expuestos a las excavaciones.

**Pendiente Real:** Significa la pendiente a la que se excava un frente de excavación.

**Distress:** Estado del suelo en una condición de derrumbe inminente o de alta probabilidad que ocurra. Se evidencia por fenómenos tales como el desarrollo de fisuras en la cara de la excavación o adyacente a una excavación abierta, hundimientos del borde de una excavación entre otras señales.

**Pendiente máxima admisible:** significa la inclinación más empinada de un frente de excavación que es aceptable para las condiciones del sitio más favorables como la protección contra derrumbes.

**Exposición a corto plazo:** Significa un periodo de tiempo inferior o igual a 24 horas de una excavación.

La pendiente máxima permitida para un depósito de suelo o roca se determina de acuerdo al Cuadro N°17.

Cuadro N°17: Pendiente máxima permisible

Tipo de Suelo	Talud máximo admisible (H:V) para excavaciones menores a 6m de profundidad
Roca Estable	Vertical (90°)
Tipo A(2)	0.75 : 1 (53°)
Tipo B	1 : 1 (45°)
Tipo C	1.5 : 1 (34°)

FUENTE: Norma OSHA

La pendiente real no deberá ser más pronunciada que la pendiente máxima permisible.

A corto plazo la pendiente máxima permisible será V:H 1:0.5 (63°), que está permitido en excavaciones en suelos Tipo A hasta profundidades de 3,67m. Para

excavaciones de profundidades de más de 3,67m el talud será V:H 1:0.75 (53°). Asimismo, para excavaciones de más de 6m de profundidad deben ser diseñados por un ingeniero profesional registrado PR.

#### 7.3.5 Respecto del apéndice C: Apuntalamiento de madera para zanjas

Referente a apuntalamientos con madera que proporcione un método de protección de derrumbes en zanjas que no excedan 6 m de profundidad.

La información que presenta este apéndice está relacionada al tipo de suelo, tipo de madera, sus propiedades mecánicas y dimensiones asociadas a su funcionalidad en los sistemas de apuntalamiento en las excavaciones.

#### 7.3.6 Respecto del apéndice D: Aluminio hidráulico en apuntalamiento de zanjas

Cuando se realiza un apuntalamiento hidráulico de aluminio que proporcione una metodología de protección contra derrumbes en zanjas que no excedan 6m de profundidad.

La información que presenta este apéndice está relacionada al tipo de suelo, sus propiedades mecánicas y dimensiones asociadas a su funcionalidad en los sistemas de apuntalamiento en las excavaciones.

### 7.4 RESPECTO DE LA NORMA CE.020 SUELOS Y TALUDES

La norma CE.020 realiza importantes definiciones, que se describen a continuación.

#### 7.4.1 Análisis de estabilidad de taludes

Proceso en el cual se evalúan cuantitativamente la interacción entre las fuerzas estabilizantes o resistentes y las fuerzas desestabilizadoras o movilizantes que actúan sobre el talud.

#### 7.4.2 Coeficiente sísmico

Factor que permite ajustar el cálculo de la sobrecarga sísmica horizontal en la base de un edificio, a la relación entre el periodo de vibración de la estructura y el terreno de cimentación.

#### 7.4.3 Empuje activo

Tensiones generadas por el estado activo, donde existe la posibilidad de que el suelo se deforme lateralmente, disminuyendo la tensión horizontal hasta un valor mínimo donde se alcanza un estado de tensión de falla.

#### 7.4.4 Empuje de reposo

Tensiones generadas a partir de un estado de reposo de empujes de tierra en total confinamiento lateral, donde solo puede presentarse deformación en el sentido vertical, mientras que lateralmente la deformación es nula.

#### 7.4.5 Empuje pasivo

Tensiones generadas por el estado pasivo, donde existe la posibilidad de que el suelo se deforme lateralmente, aumentando la tensión horizontal hasta un valor máximo donde se alcanza un estado tensional de falla.

#### 7.4.6 Entibación

Proceso mediante el cual se contrarresta los empujes activos, empleando materiales de sostenimiento de manera temporal.

#### 7.4.7 Estabilización de taludes

Solución geotécnica integral que se implementa en un talud, sea terraplén, de excavación, de corte, natural u otros, capaz de incorporarle equilibrio suficiente y sostenible, que atienda los criterios gravitatorios y sísmicos, medidos por factores de seguridad, sin afectar negativamente a su entorno.

#### 7.4.8 Estabilización de taludes por disminución de las presiones hidrostáticas

Las presiones hidrostáticas acumuladas en el talud disminuyen a las presiones efectivas, afectando la resistencia del material para el caso de taludes en los suelos. Para el caso en taludes en roca, las presiones hidrostáticas disminuyen las presiones normales actuantes, afectando la resistencia cortante. En ambos casos se perjudica la estabilidad del talud, la cual puede reestablecerse incorporando soluciones de drenaje superficial y/o drenaje profundo al talud.

#### 7.4.9 Estabilización de taludes por disminución de los esfuerzos cortantes solicitantes

Se obtendrá suavizando la inclinación del talud, teniendo que el profesional responsable seleccione la alternativa adecuada, que entre otros podrá uniformizar el talud a una pendiente específica, incorporar un sistema de bermas de equilibrio, o cortar la cresta del talud, aliviando el peso, o rellenando con material en la base del mismo.

#### 7.4.10 Estabilización de taludes por introducción de fuerzas resistentes

En zonas inestables del talud, es posible incorporarle fuerzas resistentes externas que se integren internamente al talud, logrando compensar la deficiencia de estabilidad encontrada en la etapa de evaluación de la condición de estabilidad, cuya selección es responsabilidad del profesional responsable.

#### 7.4.11 Estabilización de taludes por mejora de las propiedades del suelo

Para alcanzar pendientes mayores que el ángulo de reposo, en general terraplenes, se deberá mejorar los parámetros geotécnicos del material, incorporando aditivos químicos, enzimas biológicas, insertando vegetación raíces y otros determinados por el profesional responsable.

#### 7.4.12 Suelo colapsable

Suelo que al ser humedecido sufre un asentamiento o colapso relativamente rápido, que pone en peligro a las estructuras cimentadas sobre ellos.

#### 7.4.13 Estabilización de suelos mediante métodos químicos

Se aplican métodos químicos en la estabilización de suelos, en casos que:

- No cumpla con los requisitos mínimos de resistencia o deformación para sustentar obras de ingeniería civil.
- No pueda ser empleado en condiciones naturales.
- No pueda ser eliminado o reemplazado por otro.

Para aplicar métodos químicos, el profesional responsable deberá sustentar previamente mediante un estudio técnico, que el suelo alcanzará estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, comprensibilidad y durabilidad.

#### 7.4.14 Estabilización de suelos mediante métodos físicos

Las estabilizaciones físicas se realizarán con el adecuado equipo mecánico, que debe ser establecido por el profesional responsable.

#### 7.4.15 Estabilización por compactación

El proceso de estabilización por compactación se debe emplear en todas aquellas obras donde la materia prima es el suelo (base de cortes de laderas, terraplenes, canales de agua, suelo de cimentación, rellenos artificiales, diques, terraplenes para vías entre otros).

El proceso debe producir lo siguiente:

- Aumentar la resistencia al corte para mejorar la calidad del suelo.
- Disminuir la comprensibilidad para reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos para reducir la permeabilidad, y así mismo, el potencial de expansión, contracción o exposición al congelamiento.

#### 7.4.16 Entibaciones

Se debe emplear entibaciones en toda obra, que requiera excavaciones en materiales deleznable que ponga en riesgo la vida humana. Este sistema será del tipo temporal durante el proceso constructivo.

### 7.5 FACTORES DE SEGURIDAD REFERENTE A LAS NORMAS

Para determinar el factor de seguridad de los taludes de excavación o factor de seguridad al deslizamiento, es necesario comparar los esfuerzos que favorecen el deslizamiento con respecto de los esfuerzos que se oponen al deslizamiento. Se muestra el esquema para el cálculo del factor de seguridad en la Figura N°36.

$$FS = \frac{\text{Esfuerzos en contra del deslizamiento}}{\text{Esfuerzos a favor del deslizamiento}}$$

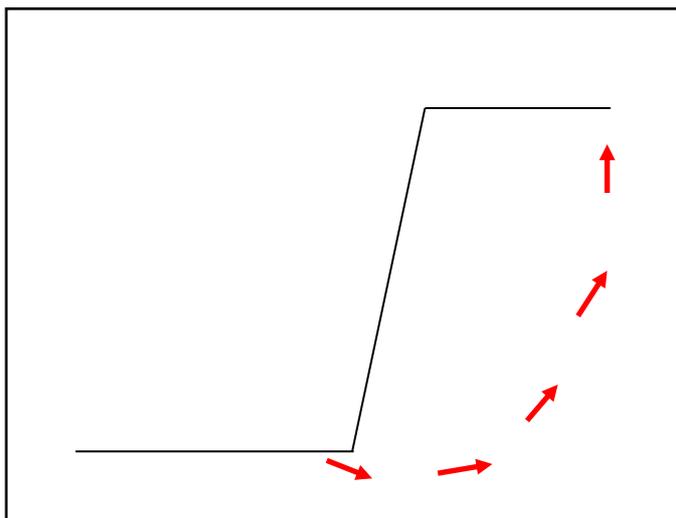


Fig.Nº36: Esquema de talud para determinar el factor de seguridad

El esfuerzo desestabilizador mayor será el peso de la masa deslizante, así también las sobrecargas de estructuras o el empuje del agua en las grietas.

El principal esfuerzo estabilizador es el esfuerzo cortante del terreno en la superficie al deslizamiento.

La elección del coeficiente de seguridad debe realizarse considerando la temporalidad de la obra, provisional o definitiva; y la situación de cálculo estática o sísmica.

Se presenta el cuadro N°18 donde se indica los factores de seguridad de normas nacionales e internacionales.

Cuadro N°18: Factores de seguridad

Norma	Talud Temporal		Talud Permanente	
	Estática	Sísmica	Estática	Sísmica
E.050	1.5*	1.25*	1.5	1.25
CE.020	-	-	1.5	1.25
AASHTO LRFD	1.3 – 1.53	1.1	1.33 – 1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.3 – 1.53	1.2 – 1.15	1.5	1.2 – 1.15
FHWA-NHI-11-032	-	1.1	-	1.1

FUENTE: Revista Civilizate N°07

## CAPÍTULO VIII: APLICACIÓN PROYECTO PACHACUTEC – ETAPA I

### 8.1 DEFINICIÓN DE EQUIPOS

#### 8.1.1 Retroexcavadora CAT 420F

Para profundidades de excavación de hasta 2.5m, se definió utilizar Retroexcavadora CAT 420F, como se muestra en la Figura N°37.

Profundidad de excavación máxima: 4.30m

Ancho entre ejes de llantas: 2.10m

Ancho de cucharón: 0.60m



Fig.N°37: Retroexcavadora 420F

#### 8.1.2 Excavadora neumática doosan DX140W

Para profundidades de excavación superiores a 2.5m, se definió utilizar excavadora neumática DOOSAN DX140W, como se muestra en la Figura N°38.

Profundidad de excavación máxima: 5.20m

Ancho de estiba: 2.50m

Ancho de cucharón: 0.90m



Fig.N°38: Excavadora Doosan DX140F

### 8.1.3 Plancha vibratoria wacker neuson DPU6555

Debido a que en los suelos granulares la eficiencia de compactación mejora cuando se compacta por vibración, se definió utilizar planchas vibratorias de 0.5tn Wacker Neuson DPU6555 como se muestra en la Figura N°39, con las siguientes características principales:

Peso: 0.495 ton

Tamaño de placa base: 550 x 900 mm

Frecuencia: 69 Hz

Velocidad máxima de avance: 28 m/min

Rendimiento máximo: 1.2 m<sup>2</sup>/h



Fig.N°39. Pancha vibratoria wacker DPU6555

## 8.2 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE INFILTRACIÓN

Debido a que la compactación hidráulica se realizaba en arroceras con dimensiones sin definir y con volúmenes de agua indeterminados como se muestra en la Figura N°40, basado en la experiencia de los jefes de grupo, es necesario determinar las cantidades de agua, dimensiones de arroceras y tiempo de infiltración.



Fig.N°40: Arroceras metodología convencional

Dado que el suelo está sometido a un gradiente de presiones, suelo arenoso a presión atmosférica, y debido a que la infiltración se produce por gravedad el gradiente del nivel piezométrico coincide con el gradiente de la cota geométrica.

Por lo tanto, del gradiente hidráulico se tiene:

$$i = \frac{\Delta h}{L} = 1$$

En la ecuación de Darcy se tiene:

$$v = k \cdot i$$

$$v = k$$

De acuerdo a Braja Das (2007) indica para suelos arenosos una variación del coeficiente de permeabilidad  $k$  entre  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$ ; con la finalidad de estimar el tiempo de infiltración necesario y para que el agua se infiltre hasta la profundidad de excavación. Se considera  $k = 10^{-2}$  y la dirección del flujo del agua solo en la dirección de la gravedad.

Para profundidades de excavación de hasta  $H=1.5\text{m}$ :

$$t_{\text{infiltración}} = \frac{H}{k} = \frac{150\text{cm}}{0.01\text{cm/s}} = 15000\text{s} \cdot \frac{1\text{hr}}{3600\text{s}} = 4.17\text{ hr}$$

Para profundidades de excavación de hasta  $H=2.5\text{m}$ :

$$t_{\text{infiltración}} = \frac{H}{k} = \frac{250\text{cm}}{0.01\text{cm/s}} = 25000\text{s} \cdot \frac{1\text{hr}}{3600\text{s}} = 6.94\text{ hr}$$

Para profundidades de excavación de hasta  $H=3.5\text{m}$ :

$$t_{\text{infiltración}} = \frac{H}{k} = \frac{350\text{cm}}{0.01\text{cm/s}} = 35000\text{s} \cdot \frac{1\text{hr}}{3600\text{s}} = 9.72\text{ hr}$$

Dado que las jornadas de trabajo son de 8 horas, es necesario que las arrocetas se realicen antes del término de jornada, para que la excavación pueda realizarse al inicio de jornada del día siguiente, considerando el tiempo suficiente para que la infiltración del agua llegue a la profundidad requerida.

De las estimaciones, la compactación hidráulica debe realizarse 12 horas antes de la excavación.

### 8.3 DISEÑO DE EXCAVACIONES

Con fines de compendiar el diseño de las excavaciones de acuerdo a las profundidades de instalación de las tuberías, se planteó tres tipos de excavaciones como se indica en el cuadro N°19:

Cuadro N°19: Definición de tipo de excavación

Tipo de excavación	Profundidad de excavación (h)
I	$h < 1.5 \text{ m}$
II	$1.5 \text{ m} < h < 2.5 \text{ m}$
III	$h > 2.5 \text{ m}$

FUENTE: Elaboración propia

#### 8.3.1 Dimensiones de arroceras y cantidad de agua

De la definición de equipos, el tipo de excavación, tiempo de infiltración, espesor de material lastrado y la metodología de trabajo, Método Deductivo – Inductivo, para determinar la cantidad de agua de acuerdo al tipo de excavación. Se definieron las dimensiones de las arroceras y cantidad de agua de acuerdo al tipo de excavación. Se presenta el cuadro N°20 y Figura N°41, donde se indica el ancho y profundidad de las arroceras de acuerdo al tipo de excavación, donde la longitud de excavación es función de la longitud de la red de la tubería a instalar.

Cuadro N°20: Dimensiones de arroceras técnica

Tipo de excavación	Ancho (A) – Profundidad (H)
I	Redes de Desagüe: 2.20m – 0.60m
	Redes de Agua: 0.80m – 0.60m
II	2.50m – 0.90m
III	1.50m – 3.00m

FUENTE: Elaboración propia

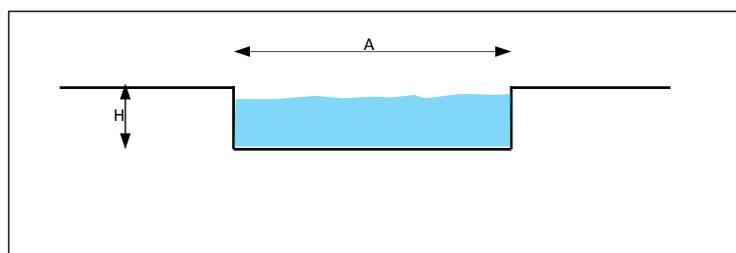


Fig.N°41: Esquema de arroceras

h: Profundidad de arrocera.

A: Ancho de arrocera.

También, se presenta el cuadro N°21, donde se muestra el volumen de agua por metro lineal a emplear de acuerdo al tipo de excavación.

Cuadro N°21: Volumen de agua de acuerdo al tipo de excavación

Tipo de Excavación	Excavación		Agua (m3/ml)
	Lastrado(m)	Material propio (arena) (m)	
I	0.3	1.2	0.0
II	0.3	2.2	1.1
III	0.3	>2.2	1.84

FUENTE: Consorcio SADE-COSAPI

### 8.3.2 Excavación tipo I

Considerando un espesor de 0.60m de material lastrado (ripio), influencia de la compactación por vibración de 30cm, carga muerta producto de la excavación de 1.272 kg/cm<sup>2</sup>, se tiene el modelamiento de la excavación como se muestra en la Figura N°42.

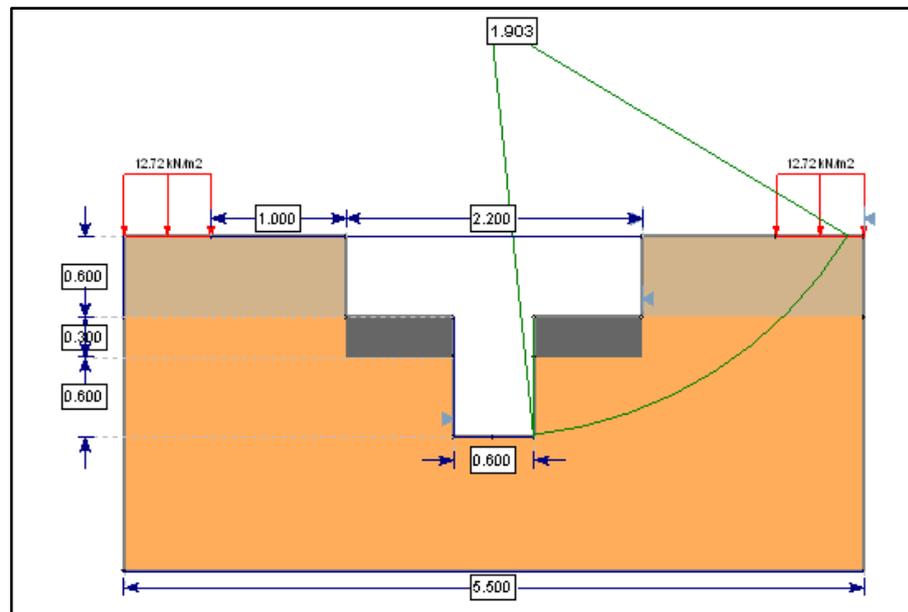


Fig.N°42: Diseño de excavación tipo I (SADE-COSAPI)

### 8.3.3 Excavación tipo II

Considerando un espesor de 0.60m de material lastrado (ripio), y la influencia de la compactación por vibración de 30cm, se tiene el modelamiento de la excavación como se muestra en la Figura N°43.

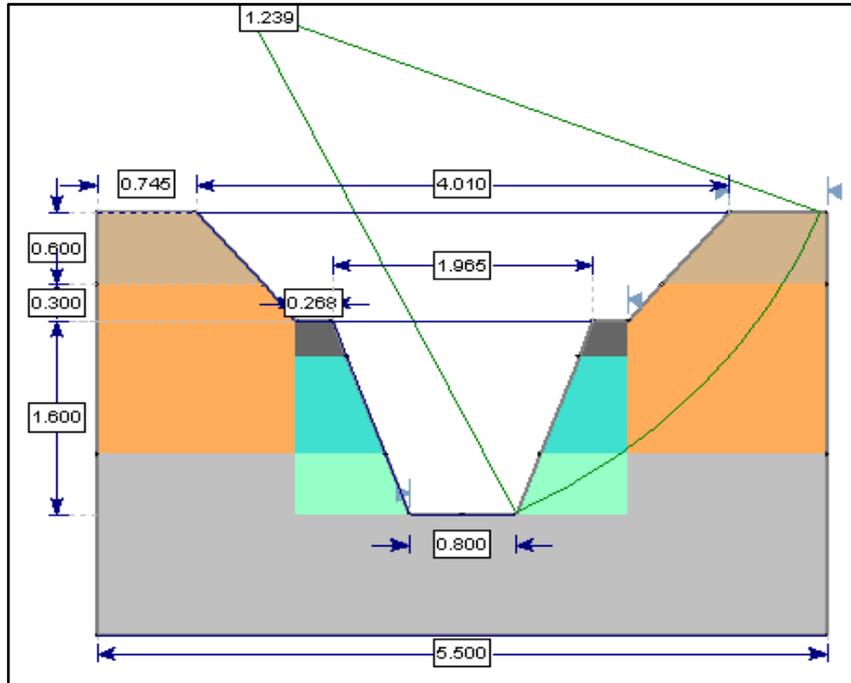


Fig.N°43. Diseño de excavación tipo II (SADE-COSAPI)

### 8.3.4 Excavación tipo III

Considerando un espesor de 0.60m de material lastrado (ripio), y la influencia de la compactación por vibración de 30cm, se tiene el modelamiento de la excavación como se muestra en la Figura N°44:

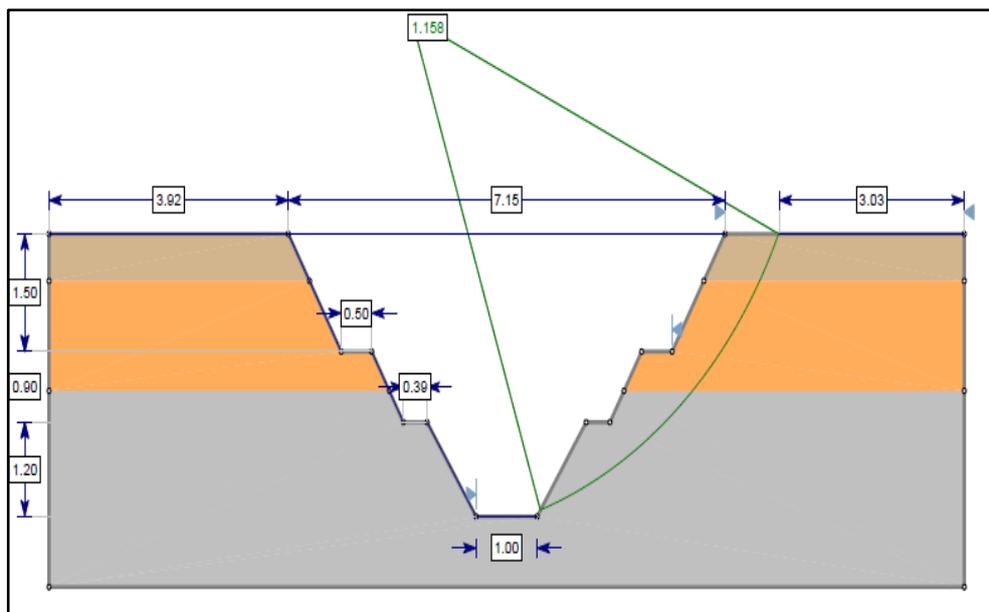


Fig.N°44: Diseño de excavación tipo III (SADE-COSAPI)

## 8.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

De acuerdo a las profundidades de instalación y diámetro de tuberías proyectadas, se planteó el siguiente proceso constructivo.

### 8.4.1 Excavación de zanja tipo I

Son excavaciones con profundidades de hasta 1.50m, donde se planteó el procedimiento siguiente:

#### REDES DE ALCANTARILLADO

- Trazo del eje de la excavación, eje de la instalación de tubería, y bordes de excavación.
- Excavación de 0.60m de profundidad del terreno existente en un ancho de 2.20m.
- Limpieza y nivelación de la superficie excavada, para realizar trabajos de pre compactación.
- Pre compactación sobre el suelo arenoso con plancha vibratoria por 02 ciclos.
- Excavación de la zanja, con ancho de cucharón de la retroexcavadora de 0.60m, hasta la profundidad de instalación.

#### REDES DE AGUA POTABLE

- Trazo del eje de la excavación, eje de la instalación de tubería, y bordes de excavación.
- Excavación de 0.60m del terreno existente, en un ancho de 0.80m.
- Limpieza y nivelación de la superficie excavada, para realizar trabajos de pre compactación.
- Pre compactación, sobre el suelo arenoso con plancha vibratoria por 02 ciclos.

### 8.4.2 Excavación de zanja tipo II

Son excavaciones con profundidades desde 1.50m hasta 2.50m, donde se planteó el procedimiento siguiente:

- Preparación de arroceras de 2.50m de ancho por 0.90m de profundidad y longitud de instalación de la red de tubería.

- La inundación de arroceras, deben realizarse 12 horas antes de la excavación de la zanja, con un ratio de 1.1m<sup>3</sup> de agua por metro lineal de excavación prevista.
- Demolición de muretes internos de las arroceras, a lo largo del tramo a excavar.
- Limpieza y nivelación de la superficie para los trabajos de pre compactación.
- Pre compactación sobre el suelo arenoso con plancha vibratoria por 02 ciclos.
- Excavación de la zanja con ancho de cucharón de 0.80m, hasta la profundidad de instalación.

#### 8.4.3 Excavación de zanja tipo III

Son excavaciones con profundidades mayores a 2.50m, donde se planteó el procedimiento siguiente:

- Preparación de arroceras de 3.00m de ancho por 1.50m de profundidad y longitudes de instalación de tuberías.
- Las inundaciones de arroceras deben realizarse 12 horas antes de la excavación de la zanja, con un ratio de 1.84m<sup>3</sup> de agua por metro lineal de excavación a realizar.
- Demolición de muretes internos de las arroceras a lo largo del tramo a excavar.
- Limpieza y nivelación de la superficie para los trabajos de pre compactación.
- Pre compactación sobre el suelo arenoso con plancha vibratoria por 02 ciclos.
- Excavación de la zanja con ancho de 0.90m hasta la profundidad de instalación.

## CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta para el incremento de la productividad en las partidas de redes de agua y alcantarillado, se tiene los siguientes procesos indicados en el cuadro N°22, los cuales fueron controlados.

Cuadro N°22: Procesos donde se implementó la técnica de precompactación

Código	Descripción	Und	Metrado	Inc. Costo %
P-110	Excavaciones, Instalación y Relleno de tubería AP Primarias	m	25517	1.7%
P-160	Excavación, Instalación y Relleno AP Secundaria Tradicional	m	279972	5.4%
P-240	Excavaciones, Instalación y Relleno Primarias ALC	m	23937	2.4%
P-270	Excavaciones, Instalación y Relleno Secundarias ALC	m	323733	13.2%

FUENTE: Consorcio SADE-COSAPI

Los procesos fueron controlados semanalmente, y la fecha de implementación de la técnica de precompactación se realizó desde la semana 32 del proyecto.

### 9.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

Del diseño de las excavaciones y la aplicación en campo de la metodología de precompactación, se tiene que el desempeño de las excavaciones, es decir, la estabilidad de los taludes, guarda relación con la productividad y seguridad necesaria.

Se muestra en las Figuras N°45, N°46 y N°47 la implementación del diseño de las excavaciones propuestas, excavación tipo I ( $H < 1.50\text{m}$ ), excavación tipo II ( $1.5\text{m} < H < 2.50\text{m}$ ) y excavación tipo III ( $2.5\text{m} < H$ ).



Fig.N°45: Implementación de diseño de excavación tipo I



Fig.N°46. Implementación de diseño de excavación II

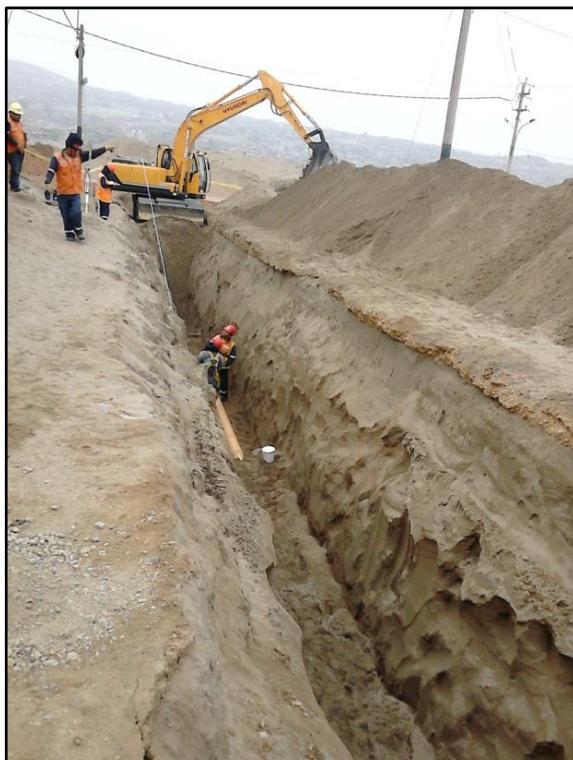


Fig.N°47: Implementación de diseño de excavación tipo III

Del análisis de los resultados se tiene un incremento en la producción semanal, en las partidas de redes de agua potable y alcantarillado, como se muestra en el cuadro N°23.

Cuadro N°23: Ratios de la producción de la precompactación vs tradicional

Código de proceso	Metodología convencional	Metodología de precompactación
P-110	0.83 Km/semana	0.94Km/semana
P-160	7.11 Km/semana	7.84 km/semana
P-240	0.91 Km/semana	1.27 km/semana
P-270	5.00 Km/semana	9.00 Km/semana

FUENTE: Elaboración propia

**Proceso P-110:** Incremento de la producción semanal de 0.83 km/semana de la metodología convencional a 0.94 km/semana con la metodología de la precompactación, como se muestra en la Figura N°48.

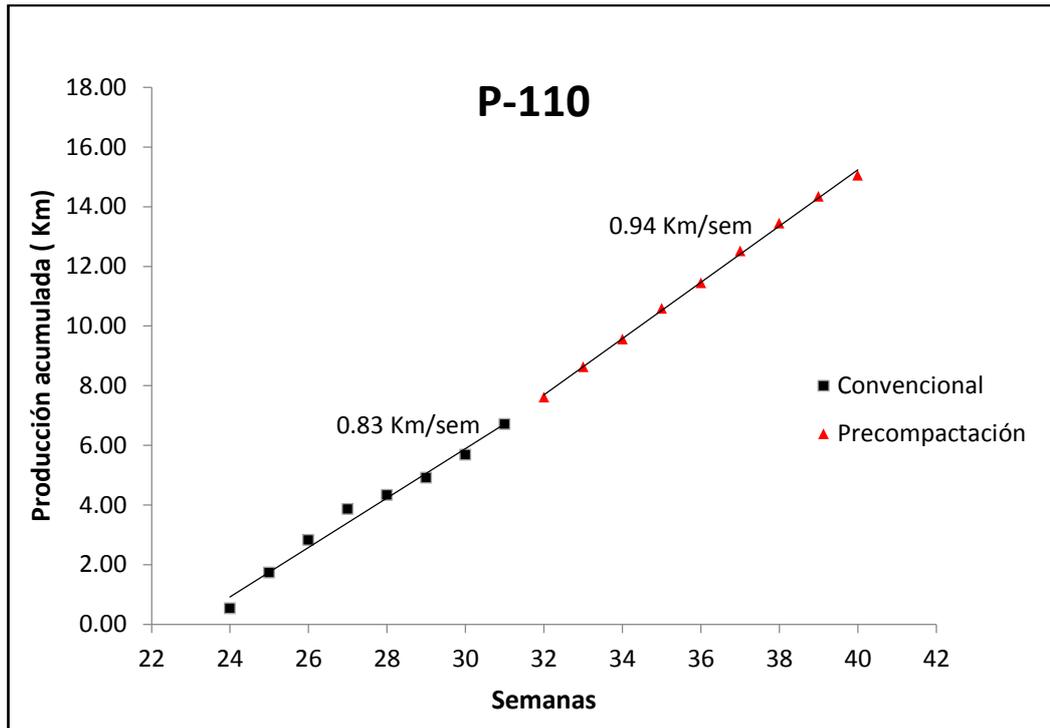


Fig.N°48: Gráfica producción P110 vs N° semana

**Proceso P-160:** Incrementó de la producción semanal de 7.11 Km/semana de la metodología convencional a 7.84 km/semana con la metodología de la precompactación, como se muestra en la Figura N°49.

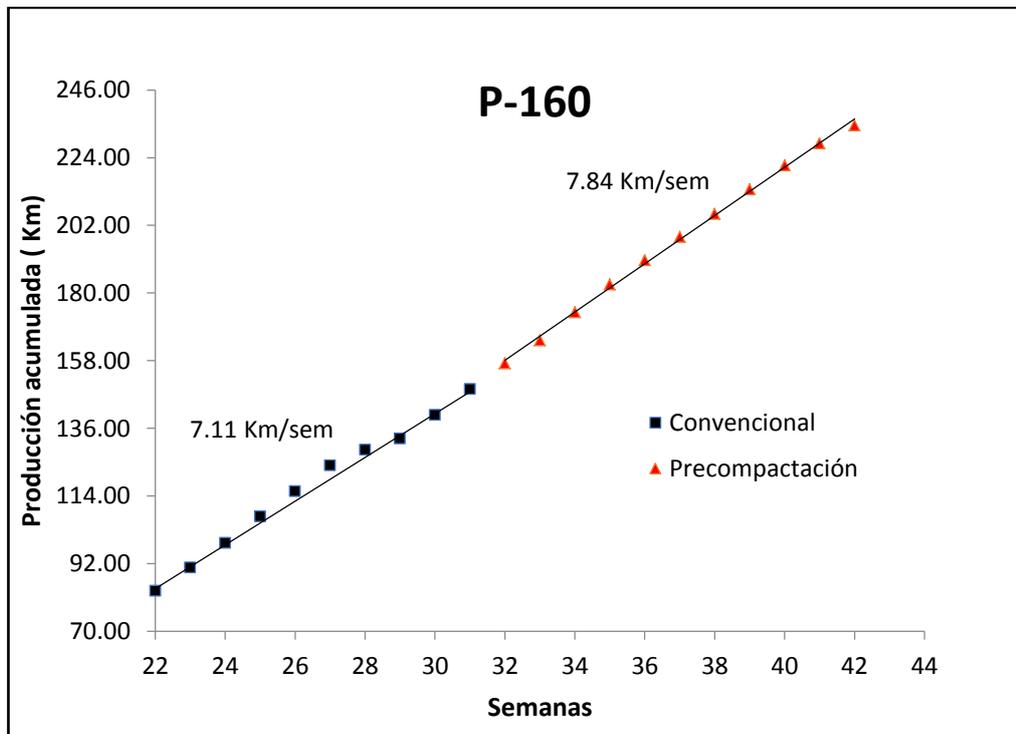


Fig.N°49: Gráfica producción P160 vs N° de semana

**Proceso P-240:** Incrementó de la producción semanal de 0.91 Km/semana de la metodología convencional a 1.27 km/semana con la metodología de la precompactación, como se muestra en la Figura N°50.

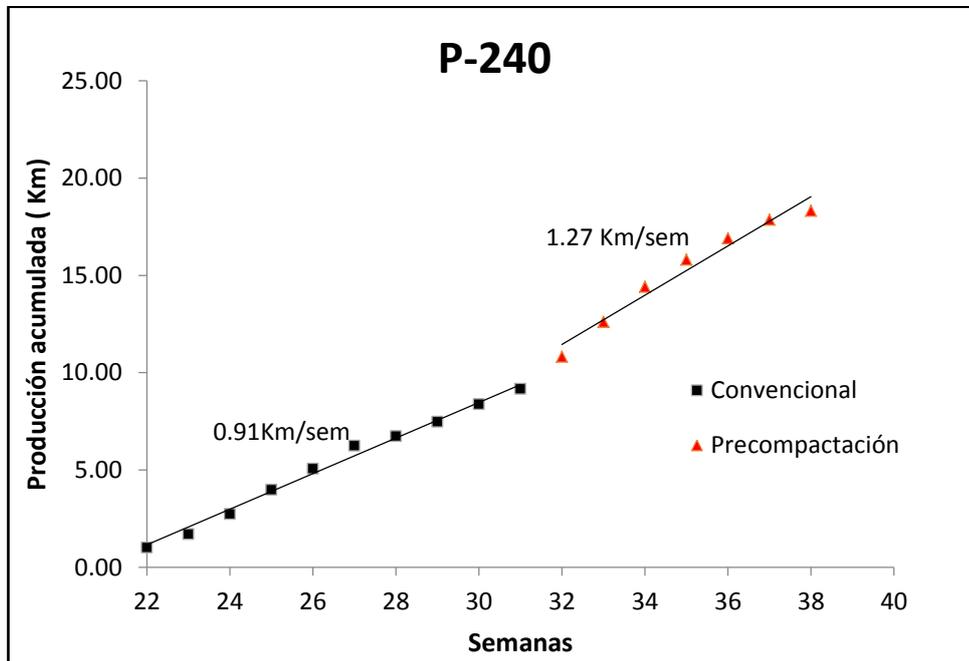


Fig.N°50: Gráfica producción P240 vs N° de semana

**Proceso P-270:** Incrementó de la producción semanal de 5.00 Km/semana de la metodología convencional a 9.00 km/semana con la metodología de la precompactación, como se muestra en la Figura N°51.

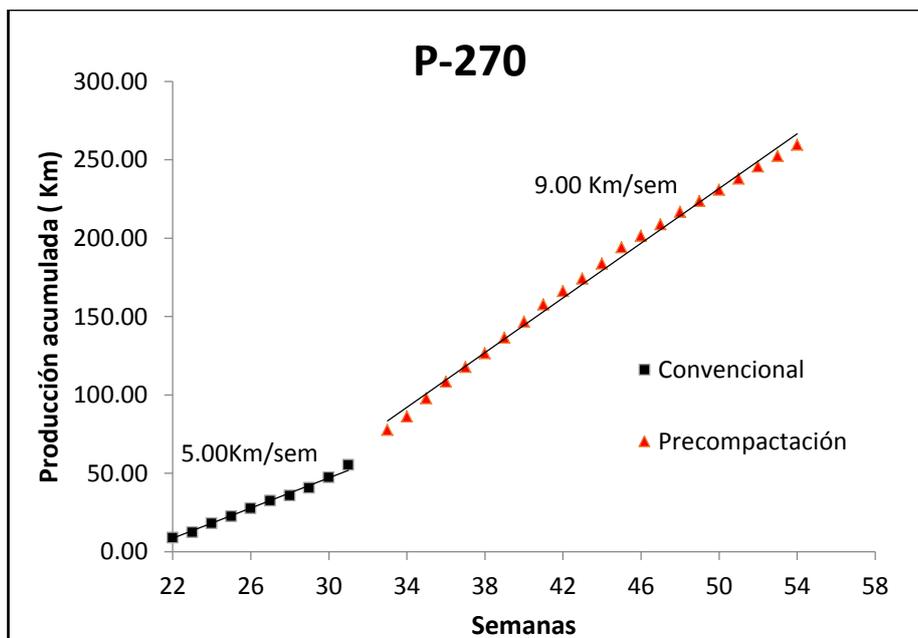


Fig.N°51: Gráfica producción P270 vs N° de semana

De la aplicación de la metodología de la precompactación respecto de la metodología convencional se obtuvo ratios de consumo de agua en los procesos de aplicación, que verifican el racionamiento de agua propuesto, como se muestra en el Cuadro N°24.

Cuadro N°24: Consumo de agua metodologías precompactación vs convencional

CÓDIGO PROCESO	Periodo x Semana		Consumo de agua (m3)		Ratio consumo de agua m3/semana	
	Convencional	Precompactación	Convencional	Precompactación	Convencional	Precompactación
P-110	24-31	32-54	11802.9	28853.4	1475.4	1254.5
P-160	11-31	32-54	58120.7	29368.4	2767.7	1276.9
P-240	21-31	32-54	11831.0	9277.2	1075.5	403.4
P-270	14-31	32-54	85329.9	167882.4	4740.5	4197.1

FUENTE: Elaboración propia

De los ratios obtenidos se tiene una disminución del consumo de agua semanal con la metodología de la precompactación respecto de la metodología convencional, como se muestra en el Cuadro N°25.

Cuadro N°25: Porcentaje de disminución de consumo de agua

CÓDIGO PROCESO	% Disminución de consumo de agua semanal
P-110	-15.0
P-160	-53.9
P-240	-62.5
P-270	-11.5

FUENTE: Elaboración propia

De la aplicación de la metodología de precompactación respecto de la metodología convencional se obtuvo una disminución en los ratios de consumo agua por metro lineal de avance, como se muestra en el Cuadro N°26.

Cuadro N°26. Ratio Vol. agua (m3) por producción (ml)

Ratio de consumo de agua por metro lineal excavación (m3/ml)				
Promedio	P-110	P-160	P-240	P-270
Convencional	2.20	0.43	1.65	1.65
Precompactación	1.17	0.27	0.71	0.69

FUENTE: Elaboración propia

Asimismo, respecto de los volúmenes de agua planteado para los tipos de excavación, guardan relación con los obtenidos de la aplicación de la metodología de precompactación, como se muestra en el cuadro N°27.

Cuadro N°27: Consumo de agua por tipo de excavación

Tipo de Excavación	Ratio de volumen de agua en Excavaciones	
	Vol. Agua propuesto (m <sup>3</sup> /ml)	Vol. Agua de la aplicación (m <sup>3</sup> /ml)
I	0.0	P110=1.17
II	1.1	P160=0.27 P240=0.71
III	1.84	P270=0.69

FUENTE: Elaboración propia

Del análisis de resultados obtenidos de la implementación técnica de la precompactación, y en consideración del periodo de implementación, periodo de capacitación a las cuadrillas y periodo de aprendizaje, se presenta las Figuras N°52, N°53, N°54 y N°55, las cuales muestran los volúmenes de consumo de agua y producción semanales.

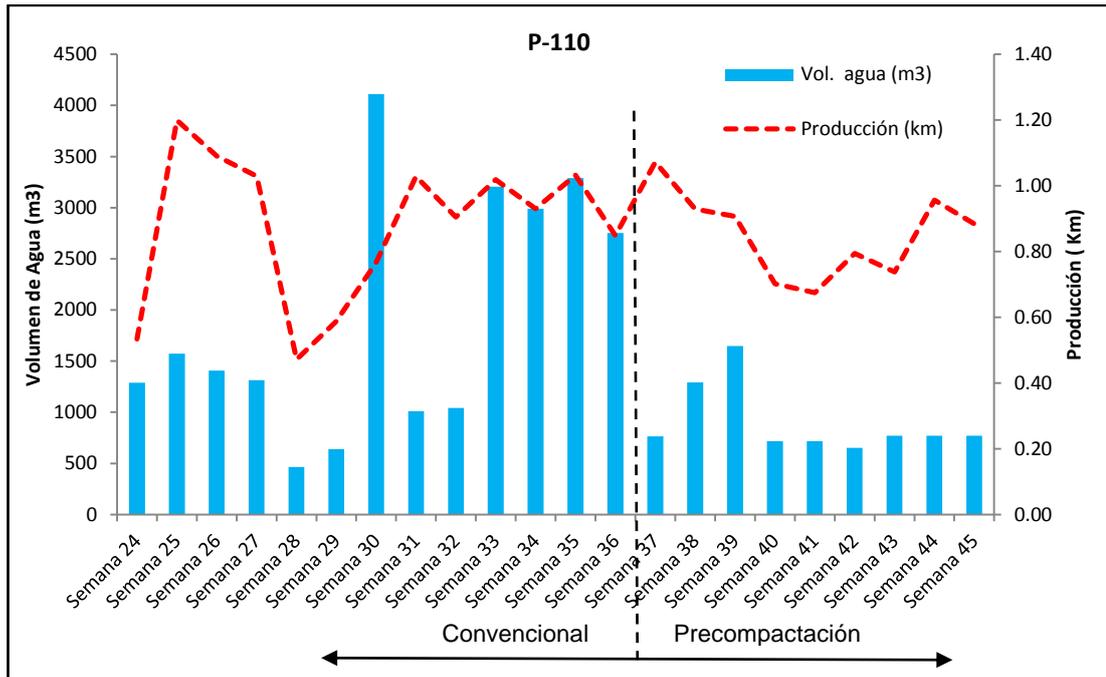


Fig.Nº52: Gráfica producción P110/Consumo de agua/Nº de semana

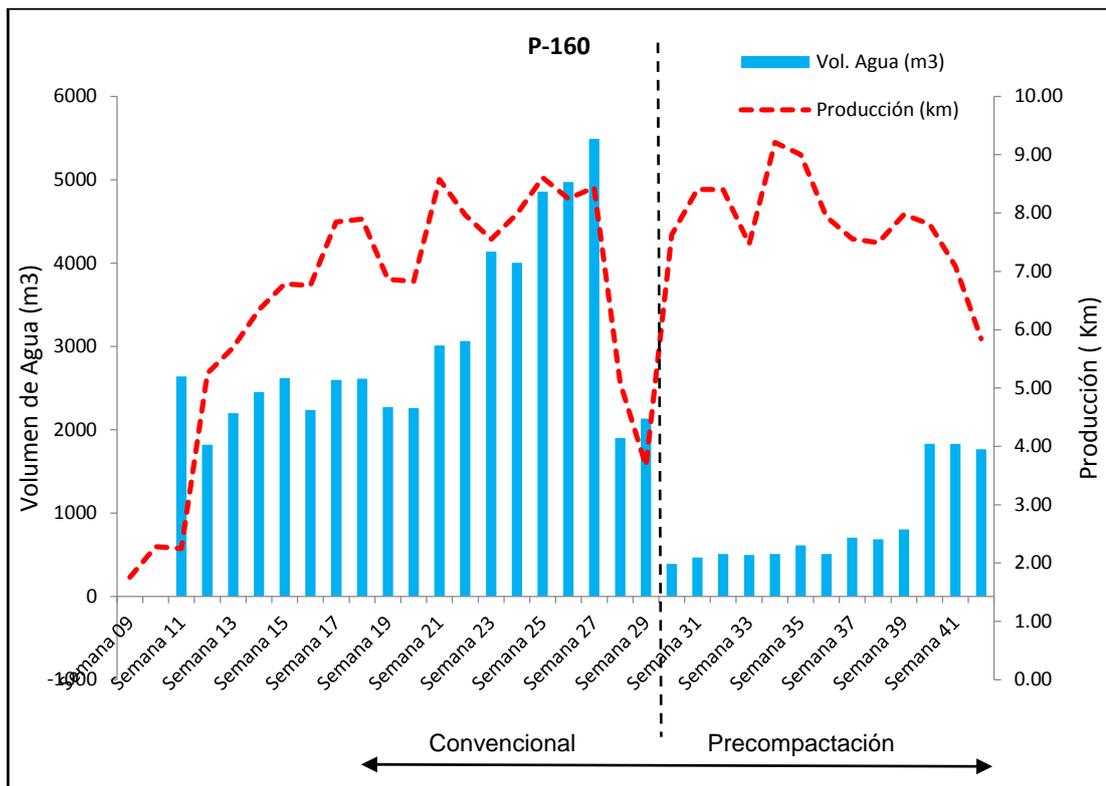


Fig.Nº53: Gráfica producción P160/Consumo de agua/Nº de semana

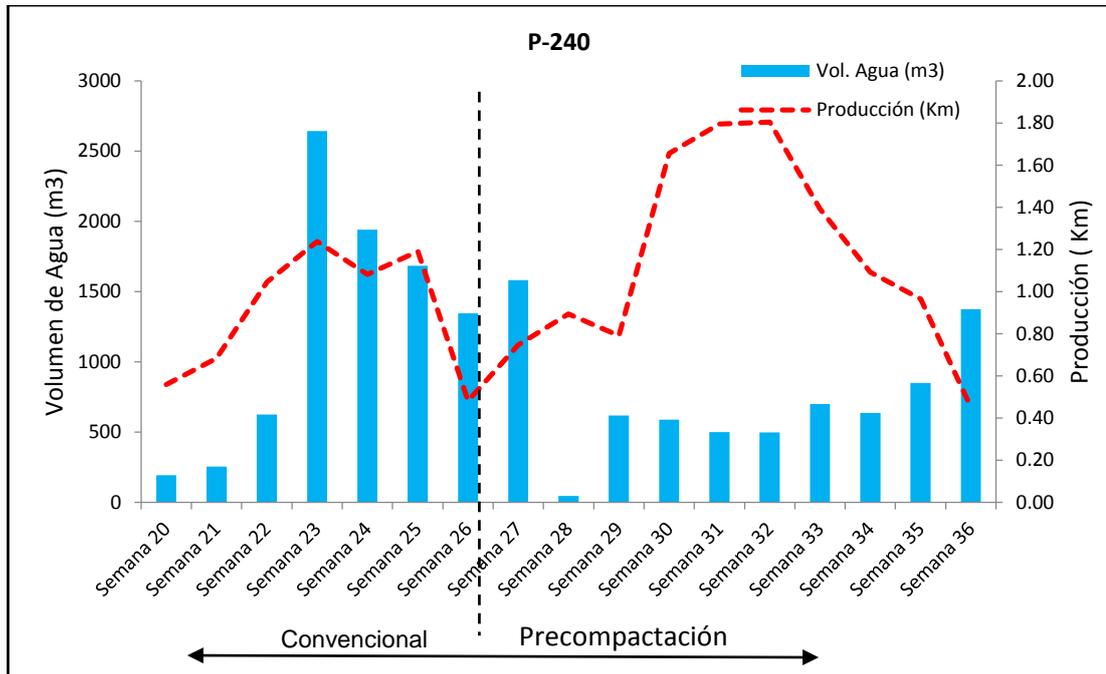


Fig.Nº54. Gráfica producción P240/Consumo de agua/Nº de semana

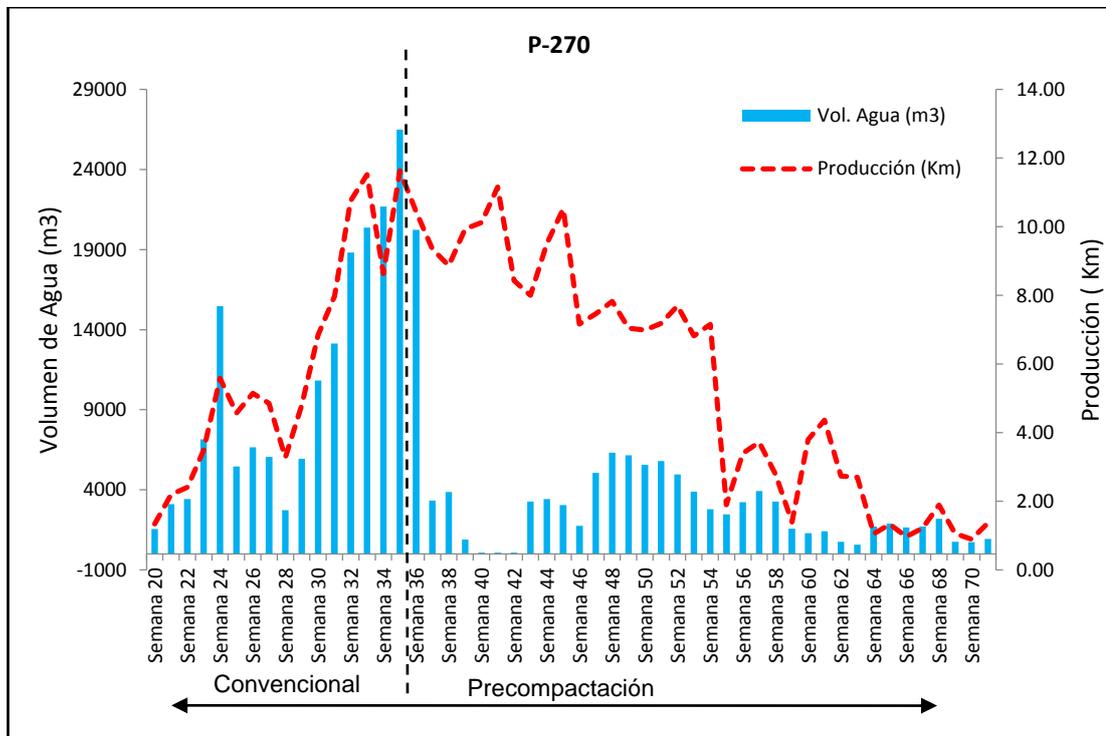


Fig.Nº55. Gráfica producción P270/Consumo de agua/Nº de semana

## 9.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

De los procesos controlados y en consideración de la semana hito de implementación de la técnica de precompactación la semana 31, se presenta el Cuadro N°28 de costo de consumo de agua de la técnica de precompactación respecto de la metodología tradicional.

Cuadro N°28: Ratios de costo de consumo de agua por semana

Código de proceso	Periodo x Semana		Costo de agua (S./) vol. total		Ratio consumo de agua S./ /semana	
	Convencional	Precompactación	Convencional	Precompactación	Convencional	Precompactación
P-110	24-31	32-54	77899.38	190955.46	9737.42	8302.41
P-160	11-31	32-54	501023.64	198805.38	23858.27	8643.71
P-240	21-31	32-54	78095.83	48448.69	7099.62	2106.46
P-270	14-31	32-54	572406.81	1107898.60	31800.38	27697.47

FUENTE: Elaboración propia

Del Cuadro N°28 se evidencia una disminución del ratio de costo del recurso agua de la técnica de precompactación respecto de la metodología convencional. Se presenta el Cuadro N°29 de disminución de costo porcentual de la técnica de precompactación respecto de la metodología convencional.

Cuadro N°29: Porcentaje de disminución de costo de consumo de agua

CÓDIGO PROCESO	% Disminución de costo de agua semanal
P-110	-14.7
P-160	-63.8
P-240	-70.3
P-270	-12.9

FUENTE: Elaboración propia

También se presenta el Cuadro N°30 que muestra el ahorro total de 1.5 millones de soles en las semanas aplicables con la metodología de precompactación.

Cuadro N°30: Ahorro total con aplicación de la metodología propuesta

Código de proceso	Semanas aplicables	Ahorro por semana S/. /semana	Ahorro Parcial S/.	Ahorro total S/.
P-110	9.0	6939.85	62458.67	1'502 397.70
P-160	25.0	17897.79	447444.86	
P-240	5.0	3789.34	18946.71	
P-270	18.0	54085.97	973547.45	

FUENTE: Elaboración propia

En el escenario de aplicación de todas las semanas evaluadas, se tiene un ahorro en costo total de 2.9 millones de soles, como se muestra en el Cuadro N°32.

Cuadro N°31: Ahorro total discriminando periodo de aprendizaje e implementación

Código de proceso	Semanas aplicables	Ahorro por semana S/.	Ahorro Parcial S/.	Ahorro total S/.
P-110	22.00	6939.85	152676.76	2'878 660.75
P-160	44.00	17897.79	787502.96	
P-240	12.00	3789.34	45472.10	
P-270	35.00	54085.97	1893008.93	

FUENTE: Elaboración propia

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

- Al racionalizar la cantidad de agua empleada con la metodología de precompactación para suelos arenosos, se puede incrementar la productividad en obras de saneamiento, conforme el diseño de las excavaciones y características geotécnicas del suelo arenoso.

En la aplicación de la metodología para el Proyecto Pachacutec I, se logró racionalizar la cantidad de agua empleada conforme la profundidad de excavación para suelos arenosos, que permitió el incremento la productividad de la obra, como se muestra en el cuadro siguiente:

Tipo de Excavación	Profundidad de excavación-h (m)	Volumen de agua a emplear (m <sup>3</sup> /ml)
I	$h < 1.50$	0.0
II	$1.50 < h < 2.50$	1.1
III	$H > 2.50$	1.84

- Del modelamiento de las excavaciones se tiene que el desempeño de los taludes propuestos empleando la metodología propuesta de precompactación, guarda relación con los resultados obtenidos, es decir, el incremento de la productividad y seguridad necesaria, conforme la aplicación en los suelos arenosos del proyecto Pachacutec I.
- La zona de influencia del proyecto está conformada por suelos arenosos de origen eólico principalmente, que de acuerdo a la clasificación SUCS predominan las arenas tipo SP y SP-SM de baja compacidad con presencia de limos, con densidades máximas de 1.75Kg/cm<sup>3</sup> y densidades mínimas de 1.43Kg/cm<sup>2</sup>, y porcentaje de humedad promedio de 6%. Además, presentan ángulos de fricción entre 27° a 33° y cohesión 0.00Kg/cm<sup>2</sup>.
- Del planteamiento de la metodología de precompactación y modelamiento de los taludes de las excavaciones aplicado en el proyecto Pachacutec I, se tiene que el modelamiento de los taludes se realizó aplicando el programa de computo SlideV.5.0, donde se obtuvo factores de seguridad de 1.903, 1.239 y 1.158 para las excavaciones tipo I, tipo II y tipo III respectivamente; factores de seguridad conforme a los mínimos exigidos en las normas para

el caso de taludes temporales. Asimismo, de la verificación geotécnica se verifico los modelamientos y se obtuvo los siguientes resultados.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TIPO DE EXCAVACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD SIN CONSIDERAR EFECTOS DESISMO	FACTOR DE SEGURIDAD CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE SISMO
1	METOLOGÍA PRECOMPACTACIÓN	I	1.304	1.123
		II	1.212	1.100
		III	1.290	1.109
2	METODOLOGÍA CONVENCIONAL	I	1.292	1.052
		II	0.855	0.771
		III	1.287	1.009

- Se logró desarrollar la metodología de precompactación pudiendo racionalizar la cantidad de agua en función de la profundidad de excavación y número de ciclos de precompactación con plancha vibratoria, con la finalidad de mejorar la capacidad de resistencia de los suelos arenosos y desempeño de los taludes de excavación, en consideración que la compactación en suelos arenosos es más eficiente con equipos vibratorios y aprovechar los efectos que se generan al inundar con agua los suelos arenosos para generar la cohesión aparente.
- Los resultados de la aplicación de la metodología de precompactación son favorables, logrando obtener taludes estables en las excavaciones e incrementando la productividad al racionalizar y disminuir los volúmenes de agua empleado para mejorar el desempeño de los taludes, con lo cual la metodología de precompactación es factible.
- De la aplicación de la metodología de precompactación en el proyecto Pachacutec Etapa I, se tiene que se implementó y controló en redes de agua potable y alcantarillado, en los procesos:

P-110: Excavaciones, Instalación y Relleno de tubería AP Primarias  
P-160: Excavación, Instalación y Relleno AP Secundaria Tradicional  
P-240: Excavaciones, Instalación y Relleno Primarias ALC  
P-270: Excavaciones, Instalación y Relleno Secundarias ALC

Se obtuvo un incremento en la producción semanal respecto de la metodología convencional como se muestra en el siguiente cuadro:

Código de proceso	Metodología convencional	Metodología de precompactación
P-110	0.83 Km/semana	0.94Km/semana
P-160	7.11 Km/semana	7.84 km/semana
P-240	0.91 Km/semana	1.27 km/semana
P-270	5.00 Km/semana	9.00 Km/semana

Asimismo, respecto de los costos con la racionalización del volumen de agua empleando la técnica de la precompactación, se muestra la reducción de costos de consumo de agua de la metodología de precompactación respecto de la metodología convencional.

Código de proceso	% Disminución de costo de agua semanal
P-110	-14.7
P-160	-63.8
P-240	-70.3
P-270	-12.9

Asimismo, en las semanas de aplicación de la metodología de precompactación se tuvo un ahorro total de 1.5 millones de soles; en el escenario de aplicación en todas las semanas evaluadas se proyecta un ahorro total de 2.9 millones de soles.

- De la evaluación de la aplicación se logró determinar que para excavaciones menores a 1.50m, Excavación Tipo I, no es necesario el uso de agua para la estabilización de los taludes, dado que la influencia de la precompactación con plancha vibratoria de 0.5 Tn en 02 ciclos de compactación previo a la excavación, sustenta taludes estables.
- Las normas descritas en esta investigación, respecto de los taludes que recomiendan de acuerdo al tipo de suelo, no son aplicables a la zona de influencia del proyecto, debido principalmente a las estructuras existentes, y resultarían técnica y económicamente inviable.

## RECOMENDACIONES:

- Se recomienda analizar y verificar la interacción entre la interfaz del bulbo humedecido de la excavación respecto del suelo arenoso en estado natural, a fin de modelar y cuantificar los efectos sobre el desempeño de los taludes propuestos para los tipos de excavaciones. Asimismo, reevaluar los factores de seguridad obtenidos en los modelamientos de los taludes propuestos, conformes las características físico mecánicas de los suelos arenosos, donde se pueda aplicar esta metodología.
- Se recomienda la evaluación de la temporalidad de las excavaciones, sea provisional o definitiva, y su relación con el análisis respecto a los factores de seguridad a emplear, dado que las normas nacionales no discriminan la temporalidad de los taludes y los factores de seguridad asociados a estos, sino asumen los mismos valores para cada caso.
- Para el caso de la aplicación de esta metodología en otros proyectos, se recomienda iniciar el proceso con la caracterización geotécnica del suelo arenoso de la zona de aplicación, luego el diseño de las excavaciones, determinación de racionalización de agua a emplear y finalmente la definición del equipo compactador.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Braja M. Das. Advanced Soil Mechanics. Taylor & Francis. EE.UU. 2008.
2. Braja M. Das. Principios de Ingeniería Cimentaciones. Thomson Editores S.A. Mexico. 2006.
3. Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Thomson Editores S.A. Mexico. 2013.
4. Carl Wersäll. Influence of Frequency of Compaction of Sand in Small-Scale Tests. Thesis Royal Institute of Technology. Stockholm. 2013.
5. Christopher Meehan, Faraz Sadeghi. An Investigation of Continuous Compaction Control Systems. University of Delaware. EE.UU. 2009.
6. Federal Highway Administration. LRFD Seismic Analysis and Design of Transportation Geotechnical Features and Structural Foundations (FHWA-NHI-11-032). Washington. 2011
7. J. Curich, V. Quijandria, V. Fernandez, J. Rodriguez, A. Mendez. Excavación de Zanjas con Precompactación. Innovación-COSAPI, 1-22. Lima. 2015.
8. Juárez Badillo, Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos I. Limusa. Mexico 2005.
9. K. Rainer Massarsch. Effects of Vibratory Compaction. Geo Engineering AB. Stockholm. 2007
10. Naval Facilities Engineering Command. Soil Mechanics Design Manual 7.01. Virginia. 1986
11. Norma CE.020. Suelos y Taludes. Ministerio de Vivienda. Peru. 2012

12. Norma E.050. Suelos y Cimentaciones. El Peruano.Perú.2018.
13. Norma G.050. Seguridad Durante la Construcción. SENCICO.Perú.2010.
14. Norma OSHA 1926. Subparte P-Excavaciones. EEUU.2017
15. Pedro Ruesta, Jorge Diaz, Jorge Alva. El coeficiente sísmico en el diseño de presas de de tierra y de enrocado. VII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Perú.1988.
16. Ricardo Valiente S. Salvador Sobrecases M. Anibal Días O. Estabilidad de Taludes. CIVILIZATE N°07. Perú. 2015.
17. Roy E. Hunt. Geotechnical Engineering Investigation Handbook. Taylor & Francis. EE.UU. 2005.
18. C. Gómez. Análisis del Efecto de la Cohesión Aparente en la Capacidad de Soportante de Cimentaciones Superficiales. Instituto Tecnológico de Costa Rica.2008.
19. Santiago Marquez. Estabilización de Suelos. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina. 2005.
20. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos AC. Manual de Construcción Geotécnica. SMMS. Mexico. 2002.
21. T. William Lambe, Robert V. Whitman. Mecánica de Suelos. Limusa Mexico. 2004.
22. Z. Aguilar, D. Calderón. Microzonificación Geotécnica Sísmica del Distrito de Ventanilla. FIC.UNI

## ANEXOS

1 ANEXO A: CUADRO DE PRODUCCIÓN SEMANAL.....	98
2 ANEXO B: CUADRO DE CONSUMO DE AGUA SEMANAL .....	100
3 ANEXO C: CUADRO DE COSTO S/. DE CONSUMO DE AGUA SEMANAL .....	102
4 ANEXO D: CUADRO DE COSTO S/. DE PRODUCCIÓN SEMANAL.....	104
5 ANEXO E: CUADRO DE DIAS LABORADOS POR SEMANA DE VIBRO PISON Y PLANCHA COMPACTADORA Y GRÁFICOS COMPARATIVOS. ....	106
6 ANEXO F: PLANO DE DISEÑOS DE EXCAVACIÓN. ....	110
7 ANEXO G: VERIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD METODO DEL EQUILIBRIO LÍMITE, METODOLOGÍA CONVENCIONAL VS PRECOMPACTACIÓN.....	111
8 ANEXO H: PANEL FOTOGRÁFICO IMPLEMENTACIÓN LA METODOLOGÍA DE PRECOMPACTACIÓN.....	121
9 ANEXO I: ENSAYOS DE LABORATORIO Y FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS EMPLEADOS.....	151

**1 ANEXO A: CUADRO DE PRODUCCIÓN SEMANAL**

Producción semanal - Instalación de tubería				
N° Semana	P-110 (m)	P-160 (m)	P-240 (m)	P-270 (m3)
Semana 01	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 02	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 03	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 04	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 05	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 06	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 07	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 08	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 09	0.00	1758.00	0.00	0.00
Semana 10	0.00	2278.62	0.00	0.00
Semana 11	0.00	2250.17	0.00	0.00
Semana 12	0.00	5253.85	0.00	0.00
Semana 13	0.00	5696.48	0.00	0.00
Semana 14	0.00	6344.82	0.00	207.85
Semana 15	0.00	6783.76	0.00	386.26
Semana 16	0.00	6758.78	0.00	273.40
Semana 17	0.00	7847.17	0.00	358.35
Semana 18	0.00	7894.48	0.00	801.54
Semana 19	0.00	6862.34	18.30	871.85
Semana 20	0.00	6830.12	173.90	1338.75
Semana 21	0.00	8577.42	257.74	2198.98
Semana 22	0.00	7967.72	558.88	2408.13
Semana 23	0.00	7551.75	683.66	3493.14
Semana 24	534.00	7981.44	1045.49	5586.75
Semana 25	1199.63	8606.40	1238.15	4570.93
Semana 26	1090.23	8248.90	1081.83	5141.61
Semana 27	1029.00	8436.17	1191.33	4854.13
Semana 28	472.15	5085.44	482.35	3272.42
Semana 29	587.00	3663.43	746.60	4799.51

Producción semanal - Instalación de tubería				
N° Semana	P-110 (m)	P-160 (m)	P-240 (m)	P-270 (m3)
Semana 30	766.10	7626.06	893.80	6845.27
Semana 31	1028.11	8404.20	791.31	7975.42
Semana 32	904.47	8401.13	1655.33	10757.25
Semana 33	1018.63	7467.43	1795.56	11521.84
Semana 34	929.78	9207.44	1804.83	8632.89
Semana 35	1032.55	9002.63	1392.14	11631.61
Semana 36	848.24	7936.62	1091.97	10433.65
Semana 37	1072.09	7559.07	965.50	9354.93
Semana 38	929.46	7489.03	452.34	8864.94
Semana 39	906.92	7972.39	313.31	9939.64
Semana 40	702.22	7806.93	208.50	10119.39
Semana 41	-	7085.53	-	11154.98
Semana 42	-	5841.47	-	8427.08
Semana 43	-	5240.81	-	7997.99
Semana 44	-	5402.48	-	9505.30
Semana 45	-	-	-	10525.76
Semana 46	-	-	-	7162.86
Semana 47	-	-	-	7466.55
Semana 48	-	-	-	7822.39
Semana 49	-	-	-	7039.84
Semana 50	-	-	-	6983.82
Semana 51	-	-	-	7180.05
Semana 52	-	-	-	7698.03
Semana 53	-	-	-	6823.90
Semana 54	-	-	-	7156.97

**2 ANEXO B: CUADRO DE CONSUMO DE AGUA SEMANAL**

Consumo de Agua (m3) semanal por proceso				
N° Semana	P-110 (m3)	P-160 (m3)	P-240 (m3)	P-270 (m3)
Semana 01	0	0	0	0
Semana 02	0	0	0	0
Semana 03	0	0	0	0
Semana 04	0	0	0	0
Semana 05	0	0	0	0
Semana 06	0	0	0	0
Semana 07	0	0	0	0
Semana 08	0	0	0	0
Semana 09	0	0	0	0
Semana 10	0	0	0	0
Semana 11	0	2637	0	0
Semana 12	0	1818.09542	0	0
Semana 13	0	2199.04285	0	0
Semana 14	0	2449.32504	0	401.62835
Semana 15	0	2618.76948	0	746.369817
Semana 16	0	2237.15618	0	319.52258
Semana 17	0	2597.41162	0	418.803645
Semana 18	0	2613.07123	0	936.759798
Semana 19	0	2271.43289	0	1018.92876
Semana 20	0	2259.949	194.470167	1557.95719
Semana 21	0	3009.3696	255.891479	3110.85141
Semana 22	0	3062.829	624.988423	3420.14681
Semana 23	0	4136	2641.98842	7146.14681
Semana 24	1287	4002	1940.98842	15462.1468
Semana 25	1573.55271	4858.21475	1683.22868	5459.02292
Semana 26	1406.57902	4973.5866	1344.88369	6658.45784
Semana 27	1313.12565	5488.80912	1581.88968	6054.24261
Semana 28	463.22348	1898.22772	47.3462559	2729.85869
Semana 29	638.519141	2133.91192	619.29906	5939.44213
Semana 30	4109.46784	389.141635	590.13	10820.4206
Semana 31	1011.46784	467.334531	500.345	13129.1691
Semana 32	1040.46784	506.9676	499.365	18812.0834
Semana 33	3205.46784	495.666	700.352	20374.0407
Semana 34	2990.59187	507.3205	635.85	21681.7516
Semana 35	3290.41317	610.236	849.35	26489.5338
Semana 36	2752.707	509.342	1375.35	20228.8573
Semana 37	764.050789	704.352	1625.25	3331.85729
Semana 38	1293.16978	685.325	66.3333333	3860.87778
Semana 39	1646.16978	804.55	415.666667	885.877778

Consumo de Agua (m3) semanal por proceso				
N° Semana	P-110 (m3)	P-160 (m3)	P-240 (m3)	P-270 (m3)
Semana 40	717.169781	1829.62222	653.666667	79.3777778
Semana 41	717.169781	1829.62222	0	79.3777778
Semana 42	652.169781	1764.62222	0	79.3777778
Semana 43	771.201751	971.942724	0	3263.52778
Semana 44	771.201751	720.942724	0	3419.52778
Semana 45	771.201751	720.942724	0	3039.52778
Semana 46	771.201751	720.942724	81	1759.52778
Semana 47	528.5	915.5	277	5063.5
Semana 48	499.5	991.5	374	6311.5
Semana 49	457.5	1116.5	479	6154.5
Semana 50	418.5	1237.5	238	5550.5
Semana 51	1263.74929	3009	256	5800.358
Semana 52	1287.74929	3066	265	4952.365
Semana 53	1121.74929	2825	243	3875.25
Semana 54	1121.74929	2825	243	2789.314

**3 ANEXO C: CUADRO DE COSTO S/. DE CONSUMO DE AGUA SEMANAL**

Costo de agua S/. Semanal por proceso				
N° Semana	P-110 (S/.)	P-160 (S/.)	P-240 (S/.)	P-270 (S/.)
Semana 01	0	0	0	0
Semana 02	0	0	0	0
Semana 03	0	0	0	0
Semana 04	0	0	0	0
Semana 05	0	0	0	0
Semana 06	0	0	0	0
Semana 07	0	0	0	0
Semana 08	0	0	0	0
Semana 09	0	0	0	0
Semana 10	0	0	0	0
Semana 11	0	17530.263	0	0
Semana 12	0	19090.0019	0	0
Semana 13	0	23089.95	0	0
Semana 14	0	25717.9129	0	12972.3025
Semana 15	0	27497.0795	0	24107.2003
Semana 16	0	27008.068	0	185.767098
Semana 17	0	31357.2517	0	243.488075
Semana 18	0	31546.3024	0	544.622384
Semana 19	0	27421.8735	0	592.394561
Semana 20	0	27352.6959	1283.5031	1322.82336
Semana 21	0	18250.5622	1688.88376	24620.8183
Semana 22	0	18603.3942	4124.92359	24428.0042
Semana 23	0	25686.3228	17437.1236	49019.6042
Semana 24	8494.2	24801.9228	12810.5236	103905.204
Semana 25	10385.4479	37773.8836	11122.4866	36924.7831
Semana 26	9283.42154	38535.3378	8889.40972	44841.0536
Semana 27	8666.62929	41935.8064	10453.6492	40853.233
Semana 28	3057.27497	18237.9692	325.662651	18912.2991
Semana 29	4214.22633	13977.1231	4100.55116	40095.5499

Costo de agua S/. Semanal por proceso				
N° Semana	P-110 (S/.)	P-160 (S/.)	P-240 (S/.)	P-270 (S/.)
Semana 30	27122.4878	2548.87771	3865.3515	66799.9614
Semana 31	6675.68778	3061.04118	3277.25975	82037.7011
Semana 32	6867.08778	3320.63778	3270.84075	119544.936
Semana 33	21156.0878	3246.6123	4587.3056	129853.854
Semana 34	19737.9064	3322.94928	4164.8175	143888.26
Semana 35	21716.7269	3997.0458	5563.2425	175619.623
Semana 36	18167.8662	3336.1901	9008.5425	134299.158
Semana 37	5042.7352	4613.5056	10645.3875	22120.1149
Semana 38	8534.92056	4488.87875	917.2	24949.5633
Semana 39	10864.72	21393.75	2447.60	4764.96
Semana 40	4733.32	11922.75	-	2112.09
Semana 41	-	11922.75	-	2112.09
Semana 42	-	11493.75	-	2112.09
Semana 43	-	6543.98	-	20433.87
Semana 44	-	4887.38	-	21344.87
Semana 45	-	-	-	18944.27
Semana 46	-	-	-	7733.89
Semana 47	-	-	-	38486.36
Semana 48	-	-	-	48601.16
Semana 49	-	-	-	47360.86
Semana 50	-	-	-	42205.86
Semana 51	-	-	-	86269.71
Semana 52	-	-	-	86181.41
Semana 53	-	-	-	87587.61
Semana 54	-	-	-	87587.61

**4 ANEXO D: CUADRO DE COSTO S/. DE PRODUCCIÓN SEMANAL**

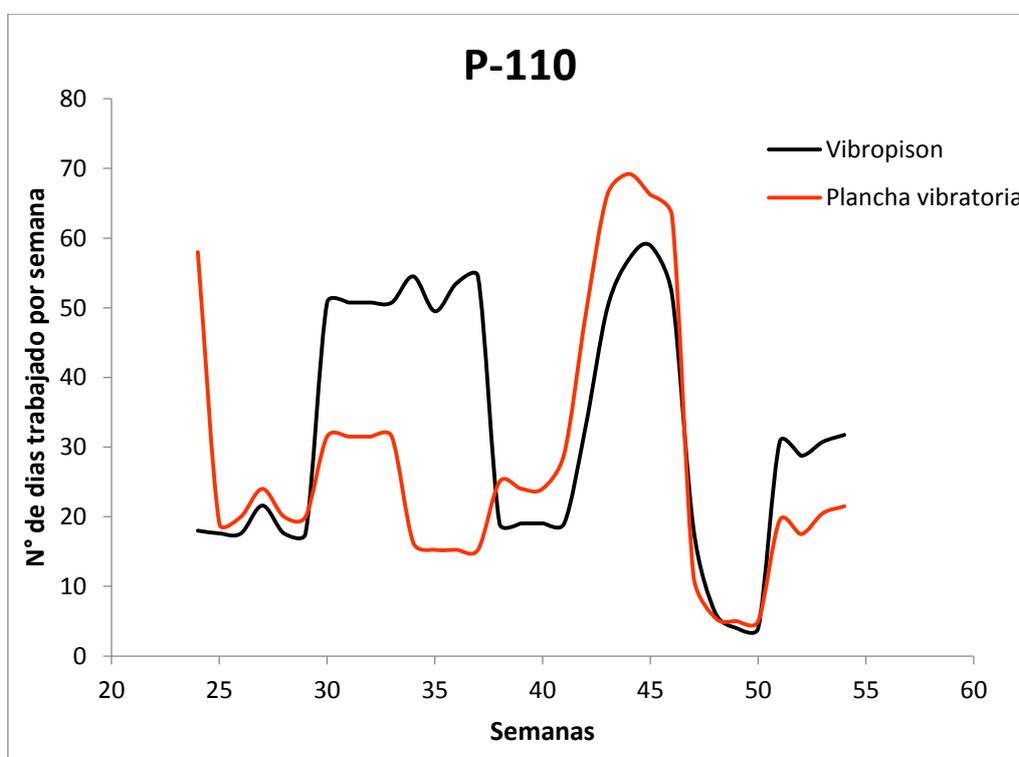
Costo s/. producción semanal por proceso				
N° Semana	P-110 (S/.)	P-160 (S/.)	P-240 (S/.)	P-270 (S/.)
Semana 01	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 02	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 03	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 04	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 05	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 06	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 07	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 08	0.00	0.00	0.00	0.00
Semana 09	0.00	55438.18	0.00	0.00
Semana 10	0.00	125154.60	0.00	0.00
Semana 11	0.00	286473.77	0.00	729.94
Semana 12	0.00	252848.16	0.00	2970.65
Semana 13	0.00	282172.68	0.00	12279.68
Semana 14	0.00	302492.97	0.00	67621.86
Semana 15	0.00	283492.61	0.00	104254.54
Semana 16	0.00	347354.02	0.00	66005.31
Semana 17	0.00	320179.14	0.00	153485.71
Semana 18	0.00	336927.15	0.00	172573.89
Semana 19	0.00	325085.36	15001.85	230642.66
Semana 20	0.00	325241.44	49492.91	266587.83
Semana 21	0.00	222477.93	79758.72	273745.26
Semana 22	0.00	243820.44	111640.79	313691.28
Semana 23	0.00	260517.90	153746.16	397203.08
Semana 24	77046.93	318421.52	138651.81	604729.98
Semana 25	93138.29	271325.70	133022.90	496926.79
Semana 26	92681.29	307360.84	134182.07	644145.85
Semana 27	92199.46	295826.05	138396.99	688495.13
Semana 28	61810.26	191889.53	87205.00	473246.78
Semana 29	60206.16	150265.37	91551.83	691515.88

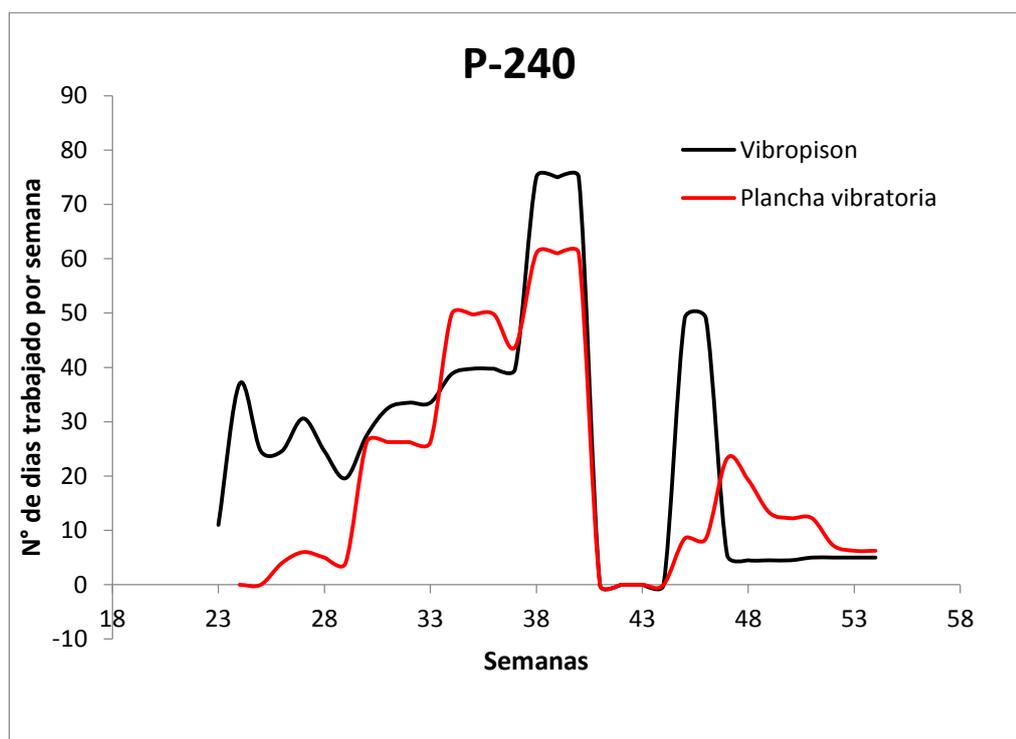
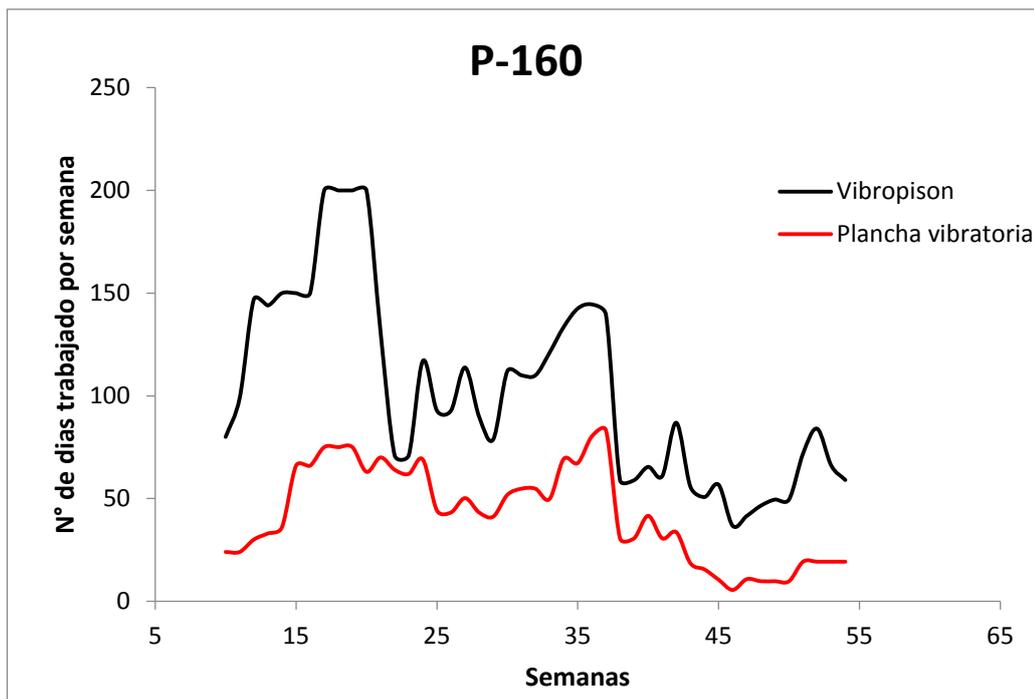
Costo s/. producción semanal por proceso				
N° Semana	P-110 (S/.)	P-160 (S/.)	P-240 (S/.)	P-270 (S/.)
Semana 30	112567.70	316441.10	216122.02	752756.73
Semana 31	110811.91	302603.30	220090.30	955141.64
Semana 32	103313.96	304208.76	238607.87	1169843.13
Semana 33	133932.31	334739.14	282782.10	1175376.24
Semana 34	139558.78	371012.68	66616.63	1114088.92
Semana 35	146939.40	370042.22	62491.41	1254753.47
Semana 36	145701.54	345645.70	39640.54	1034839.92
Semana 37	152495.21	354663.78	65480.70	1109206.45
Semana 38	117374.32	194962.41	75626.72	783778.58
Semana 39	114459.60	216668.45	44677.27	782580.08
Semana 40	108755.07	202533.50	-	849842.26
Semana 41	-	209833.96	-	816572.82
Semana 42	-	205103.25	-	744395.51
Semana 43	-	137661.62	-	623861.87
Semana 44	-	192256.50	-	764411.24
Semana 45	-	-	-	791105.86
Semana 46	-	-	-	652407.72
Semana 47	-	-	-	753757.65
Semana 48	-	-	-	834104.60
Semana 49	-	-	-	816736.30
Semana 50	-	-	-	854860.55
Semana 51	-	-	-	871923.56
Semana 52	-	-	-	905890.26
Semana 53	-	-	-	898130.96
Semana 54	-	-	-	858334.47

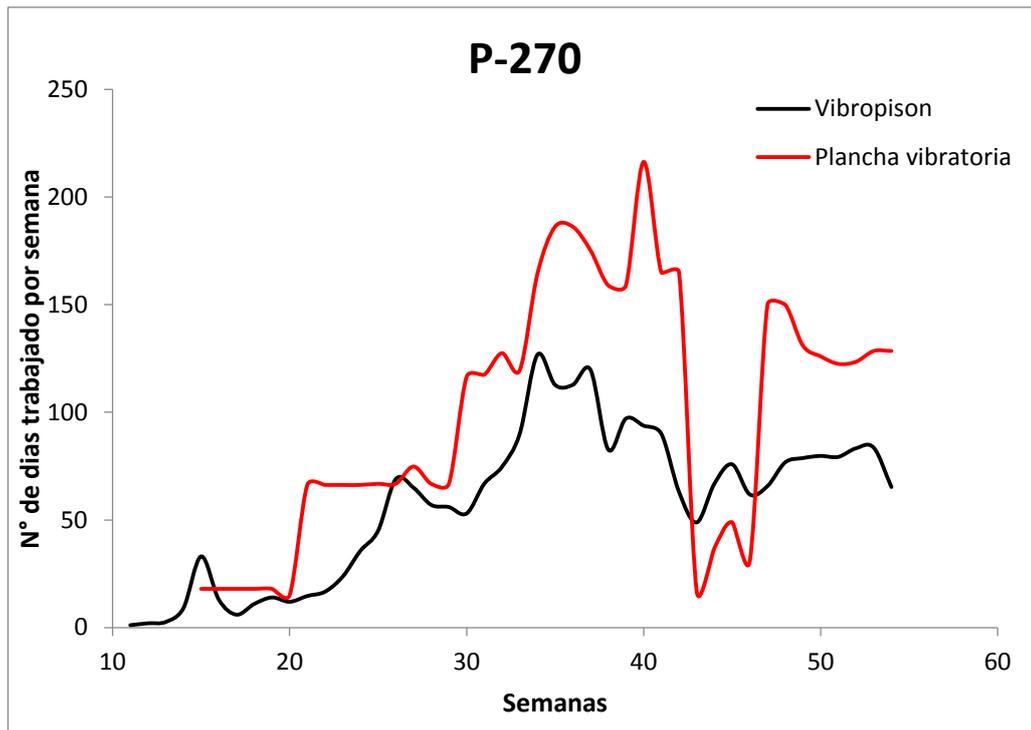
**5 ANEXO E: CUADRO DE DIAS LABORADOS POR SEMANA DE VIBRO PISON Y PLANCHA COMPACTADORA Y GRÁFICOS COMPARATIVOS.**

N° Semana	Días laborados por semana Vibropison				Días laborados por semana Plancha compactadora			
	P-110 (día)	P-160 (día)	P-240 (día)	P-270 (día)	P-110 (día)	P-160 (día)	P-240 (día)	P-270 (día)
Semana 01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semana 02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semana 03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semana 04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semana 05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semana 06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semana 07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semana 08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semana 09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Semana 10	0.0	80.0	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0
Semana 11	0.0	99.0	0.0	1.1	0.0	24.0	0.0	0.0
Semana 12	0.0	147.0	0.0	2.0	0.0	30.0	0.0	0.0
Semana 13	0.0	144.0	0.0	2.6	0.0	33.0	0.0	0.0
Semana 14	0.0	150.0	0.0	9.0	0.0	36.0	0.0	3.0
Semana 15	0.0	150.0	0.0	33.1	0.0	66.0	0.0	18.0
Semana 16	0.0	150.0	0.0	13.0	0.0	66.0	0.0	18.0
Semana 17	0.0	200.0	0.0	6.0	0.0	75.0	0.0	18.0
Semana 18	0.0	200.0	0.0	11.0	0.0	75.0	0.0	18.0
Semana 19	0.0	200.0	0.0	14.0	0.0	75.0	0.0	18.0
Semana 20	0.0	200.0	0.0	12.0	0.0	63.0	0.0	15.0
Semana 21	0.0	131.0	7.0	14.7	0.0	70.0	0.0	66.3
Semana 22	0.0	71.0	7.0	16.7	0.0	64.0	0.0	66.3
Semana 23	0.0	71.0	11.0	23.7	0.0	62.0	0.0	66.3
Semana 24	18.0	117.0	37.0	35.7	58.0	69.0	0.0	66.3
Semana 25	17.6	92.8	24.6	45.0	19.0	44.2	0.0	66.8
Semana 26	17.6	92.8	24.6	69.0	20.0	43.2	4.0	66.8
Semana 27	21.6	113.8	30.6	65.0	24.0	50.2	6.0	74.8
Semana 28	17.6	89.8	24.6	57.0	20.0	43.2	5.0	66.8
Semana 29	17.6	78.8	19.6	56.0	20.0	41.2	4.0	66.8
Semana 30	50.8	112.0	27.5	53.0	31.5	51.7	26.3	116.5
Semana 31	50.8	110.0	32.5	66.8	31.5	54.7	26.3	117.5
Semana 32	50.8	110.0	33.5	74.7	31.5	54.7	26.3	127.5
Semana 33	50.8	121.0	33.5	90.0	31.5	49.7	26.3	119.5
Semana 34	54.5	133.5	38.8	126.8	16.3	69.2	49.8	164.3
Semana 35	49.5	142.5	39.8	112.8	15.3	67.2	49.8	186.3
Semana 36	53.5	144.5	39.8	112.8	15.3	80.2	49.8	186.3
Semana 37	54.5	139.5	39.8	119.8	15.3	83.2	43.8	175.3
Semana 38	19.0	58.9	75.0	82.7	25.0	30.6	61.0	159.0
Semana 39	19.0	58.9	75.0	97.1	24.0	30.6	61.0	159.0
Semana 40	19.0	65.4	-	93.8	24.0	41.6	-	216.3
Semana 41	19.0	-	-	90.0	29.0	-	-	165.0
Semana 42	33.0	-	-	63.0	49.1	-	-	165.0
Semana 43	49.9	-	-	48.8	66.2	-	-	16.9
Semana 44	56.9	-	-	66.8	69.2	-	-	36.9

N° Semana	Días laborados por semana Vibropison				Días laborados por semana Plancha compactadora			
	P-110 (día)	P-160 (día)	P-240 (día)	P-270 (día)	P-110 (día)	P-160 (día)	P-240 (día)	P-270 (día)
Semana 45	-	-	-	75.8	-	-	-	48.9
Semana 46	-	-	-	61.8	-	-	-	30.9
Semana 47	-	-	-	65.8	-	-	-	150.0
Semana 48	-	-	-	76.8	-	-	-	150.0
Semana 49	-	-	-	78.8	-	-	-	131.0
Semana 50	-	-	-	79.8	-	-	-	126.0
Semana 51	-	-	-	79.3	-	-	-	122.5
Semana 52	-	-	-	83.3	-	-	-	123.5
Semana 53	-	-	-	83.6	-	-	-	128.5
Semana 54	-	-	-	65.3	-	-	-	128.5





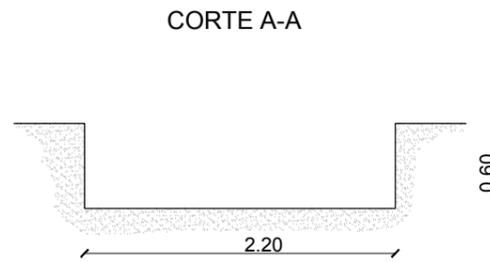
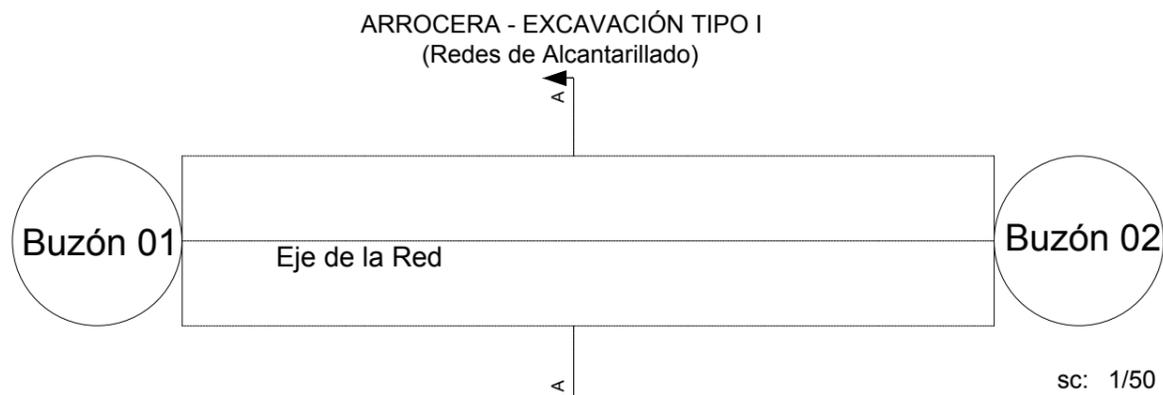


## **6 ANEXO F: PLANO DE DISEÑOS DE EXCAVACIÓN.**

PLANO 1: AA-EXC-TIPO-I-II-III\_Rev.00: "ARROCERAS Y RACIONAMIENTO DE AGUA"

PLANO 2: DD-EXC-TIPO-I-II-III\_Rev.00: "DISEÑO DE EXCAVACIONES TIPO I, II Y III"

# DIMENSIONAMIENTO DE ARROCERAS Y RACIONAMIENTO DE AGUA DE ACUERDO A TIPO DE EXCAVACIÓN

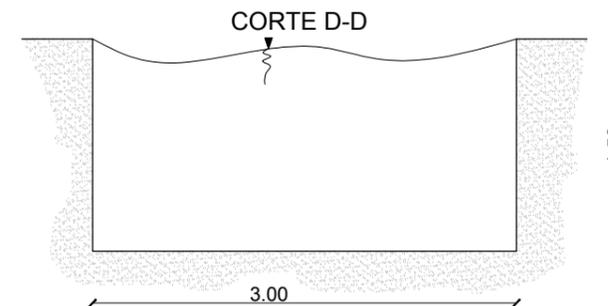
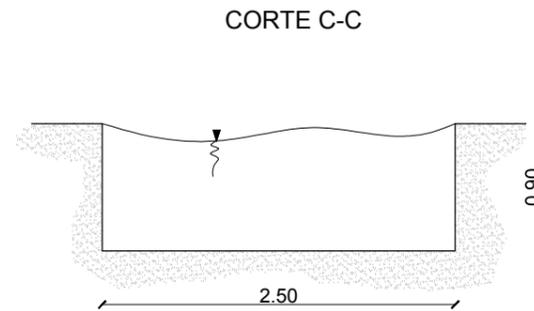
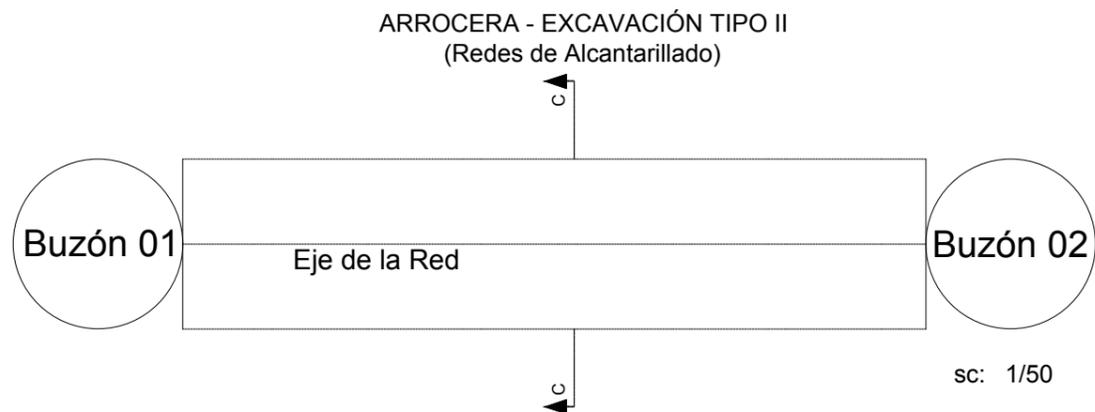
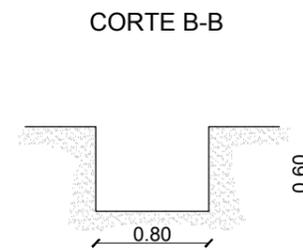
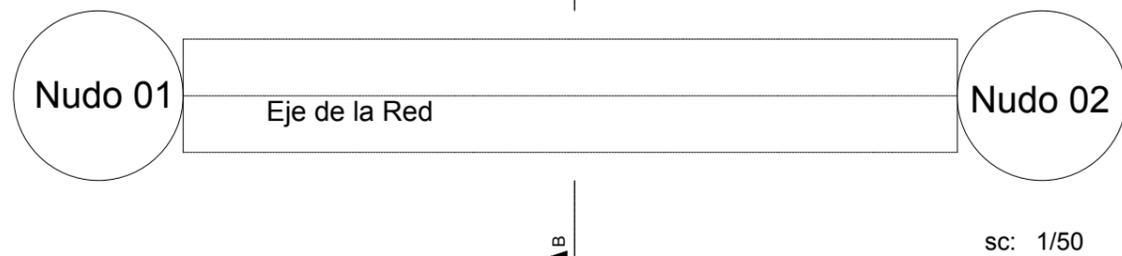


## NOTAS

1. El racionamiento de agua para las arroceras será de acuerdo a la profundidad de instalación de la tubería, como se indica en el cuadro siguiente:

Tipo de Excavación	Profundidad de excavación-h (m)	Volumen de agua a emplear (m <sup>3</sup> /ml)
I	$h < 1.50$	0.0
II	$1.50 < h < 2.50$	1.1
III	$H > 2.50$	1.84

2. El llenado con agua de las arroceras será 24 horas antes de la excavación.
3. Para las arroceras se excava 0.60m, en excavaciones tipo I, debido a que representa la altura promedio de material lastrado ( ripio ) existente en las calles donde aplica el proyecto, debajo de este material se encuentra la arena característica del proyecto y es donde aplica la metodología precompactación.
4. Para excavaciones tipo I, no es necesario el uso de agua, por lo que la aplicación de la metodología de precompactación es inmediata.
5. Antes de la excavación para la instalación de las tuberías se precompactara 02 ciclos con plancha vibratoria 0.5 tn.



REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJO
0	20-10-2018	EMITIDO PARA REGISTRO	NM

ASESOR:  
MSc. Ing. JOSÉ WILFREDO GUTIÉRREZ LÁZARES

TESIS:  
"SUELOS ARENOSOS PRECOMPACTADOS CON AGUA RACIONADA POR PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE SANEAMIENTO"

TESISTA:  
Bach. NILDO WILDER MERINO CARDENAS

ESCALA:  
INDICADA  
A3

FECHA:  
20/10/2018  
DIBUJO:  
NM

DISEÑO:  
VFL  
APROBACIÓN:  
JWGL

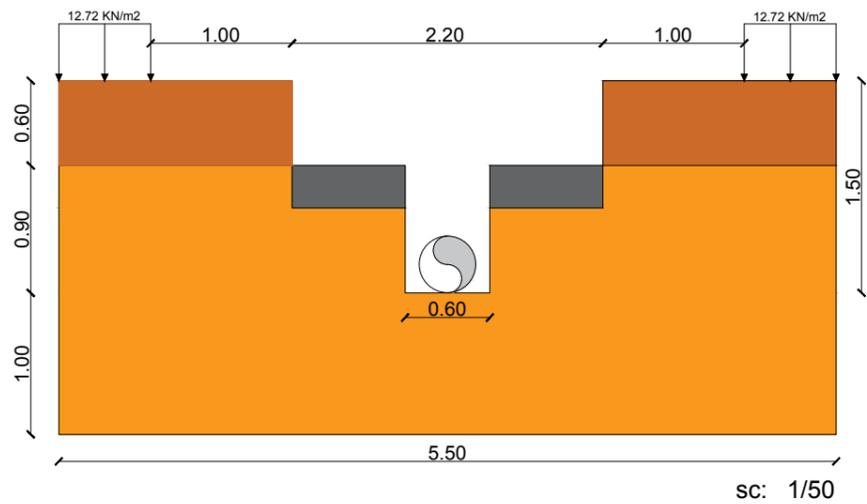
DESCRIPCIÓN:  
ARROCERAS Y RACIONAMIENTO DE AGUA

PLANO:  
AA-EXC-TIPO-I-II-III

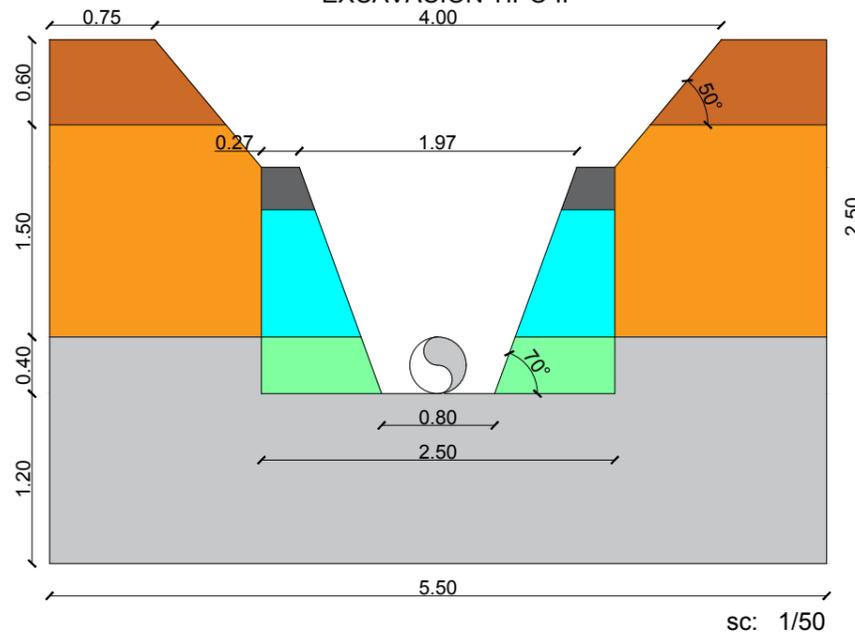
REV:  
0

# MODELAMIENTO Y DISEÑO DE TALUDES DE EXCAVACIONES

EXCAVACIÓN TIPO I



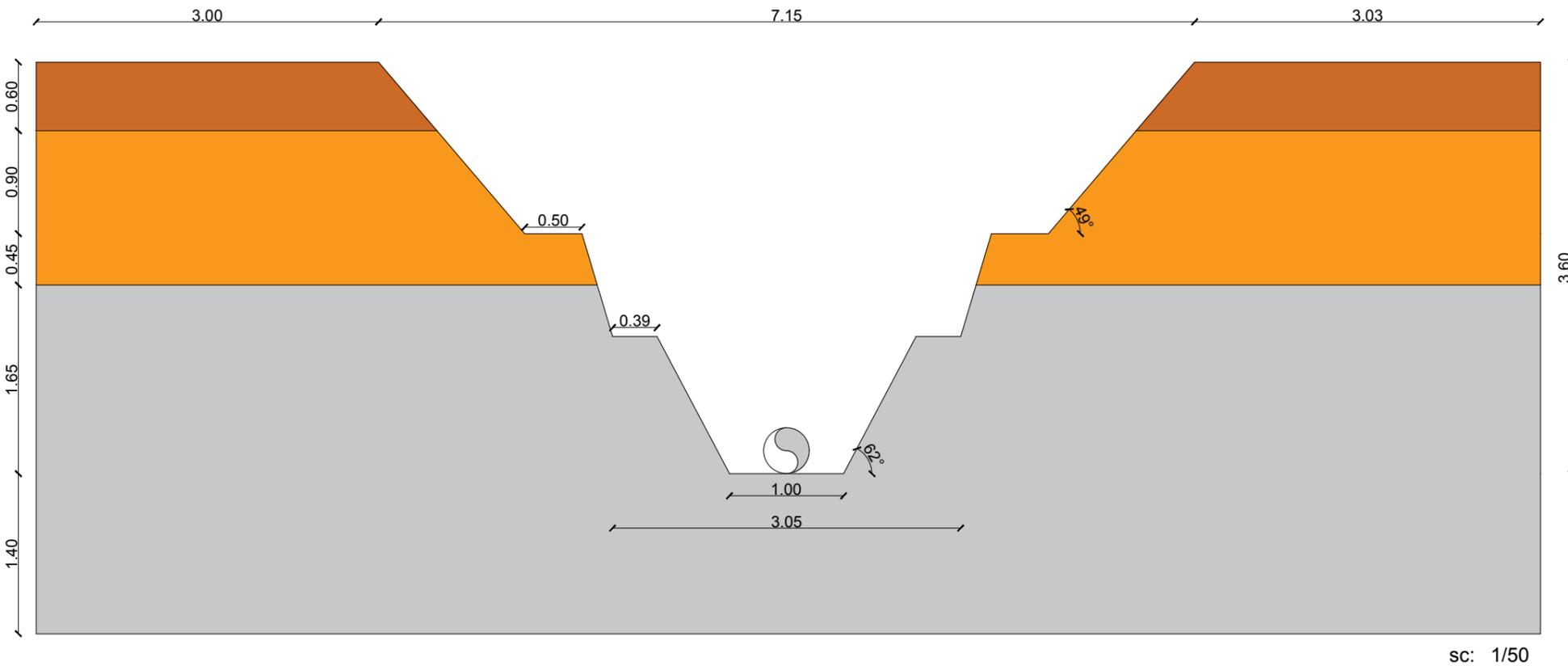
EXCAVACIÓN TIPO II



## NOTAS

- De los modelamientos se obtuvo los siguientes factores de seguridad:  
EXCAVACIÓN TIPO I : FS=1.903  
EXCAVACIÓN TIPO II : FS=1.239  
EXCAVACIÓN TIPO III : FS=1.158
- Los factores de seguridad obtenidos satisfacen las exigencias mínimas de las normas para el caso de taludes temporales.
- El modelamiento de excavación tipo III, se recomienda para vías con el espacio necesario para la ejecución del modelamiento, en redes matriz o principales.
- El racionamiento de agua permite llegar a obtener un contenido de humedad del 13% al 20%, para las excavaciones tipo II y III.

EXCAVACIÓN TIPO III



## LEYENDA

	Ripio ( D=1.65 kg/cm <sup>3</sup> )
	Arena en estado natural ( D=1.43 kg/cm <sup>3</sup> )
	Arena precompactada ( D=1.65kg/cm <sup>3</sup> )
	Arena húmeda ( D=1.75kg/cm <sup>3</sup> )
	Arena húmeda ( D=1.70kg/cm <sup>3</sup> )
	Arena densa ( D=1.80 kg/cm <sup>3</sup> )

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJO
0	20-10-2018	EMITIDO PARA REGISTRO	NM
DESCRIPCIÓN:		PLANO:	
DISEÑO DE EXCAVACIONES TIPO I, II y III.		D-EXC-TIPO-I-II-III	
			0

ASESOR:  
MSc. Ing. JOSÉ WILFREDO GUTIÉRREZ LÁZARES

TESIS:  
"SUELOS ARENOSOS PRECOMPACTADOS CON AGUA RACIONADA POR PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE SANEAMIENTO"

TESISTA:  
Bach. NILDO WILDER MERINO CARDENAS

ESCALA:  
INDICADA  
FORMATO:  
A3

FECHA:  
20/10/2018  
DIBUJO:  
NM

DISEÑO:  
VFL  
APROBACIÓN:  
JWGL

## 7 ANEXO G: VERIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD METODO DEL EQUILIBRIO LÍMITE, METODOLOGÍA CONVENCIONAL VS PRECOMPACTACIÓN.

CUADRO RESUMEN FACTORES DE SEGURIDAD METODOLOGÍA PRECOMPACTACIÓN VS METODOLOGÍA CONVENCIONAL

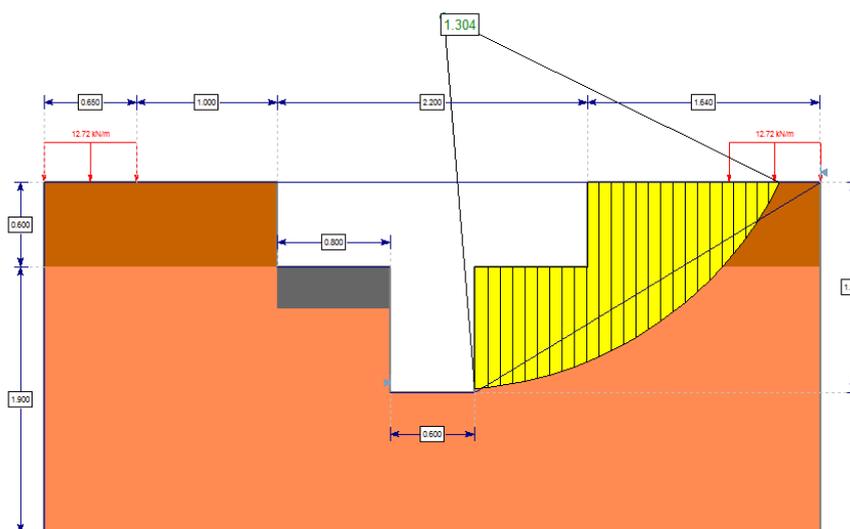
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TIPO DE EXCAVACIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD SIN CONSIDERAR EFECTOS DESISMO	FACTOR DE SEGURIDAD CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE SISMO
1	METODOLOGÍA PRECOMPACTACIÓN	I	1.304	1.123
		II	1.212	1.100
		III	1.290	1.109
2	METODOLOGÍA CONVENCIONAL	I	1.292	1.052
		II	0.855	0.771
		III	1.287	1.009

### METODOLOGÍA PRECOMPACTACIÓN

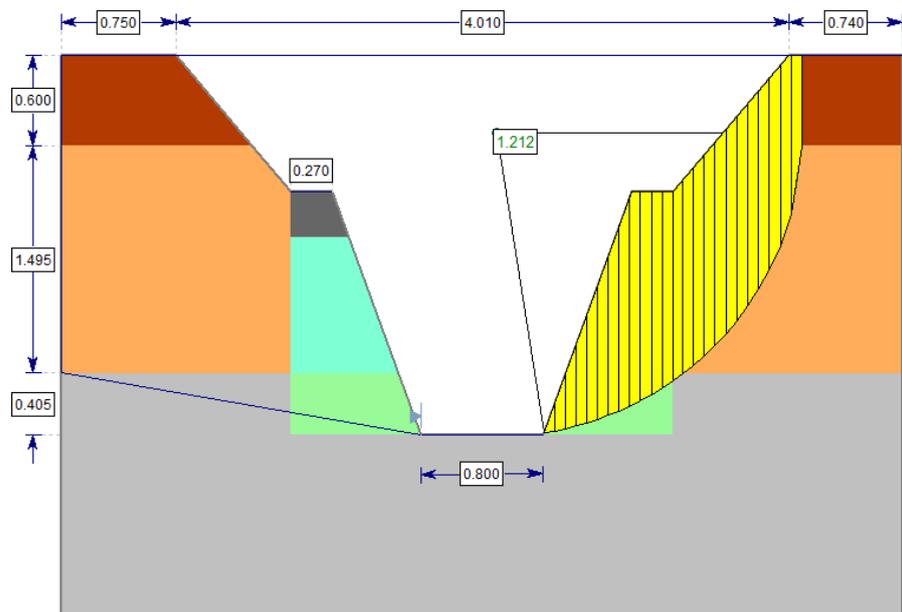
#### FACTORES DE SEGURIDAD DEL ESTADO LÍMITE, SIN CONSIDERACIÓN DE SISMO

De la verificación de los factores de seguridad de los diseños de excavación planteados, se tiene los siguientes factores de seguridad planteados, por el método simplificado de Bishop.

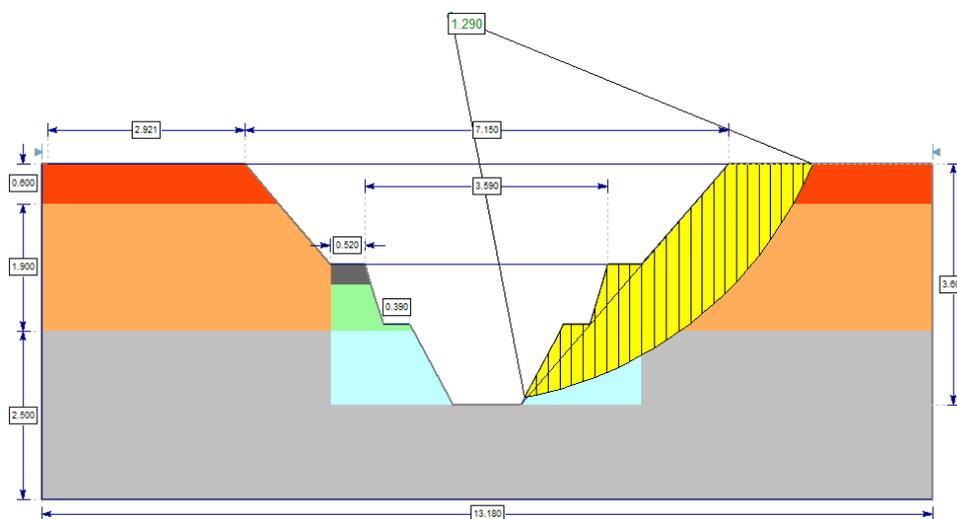
#### EXCAVACIÓN TIPO I



### EXCAVACIÓN TIPO II



### EXCAVACIÓN TIPO III



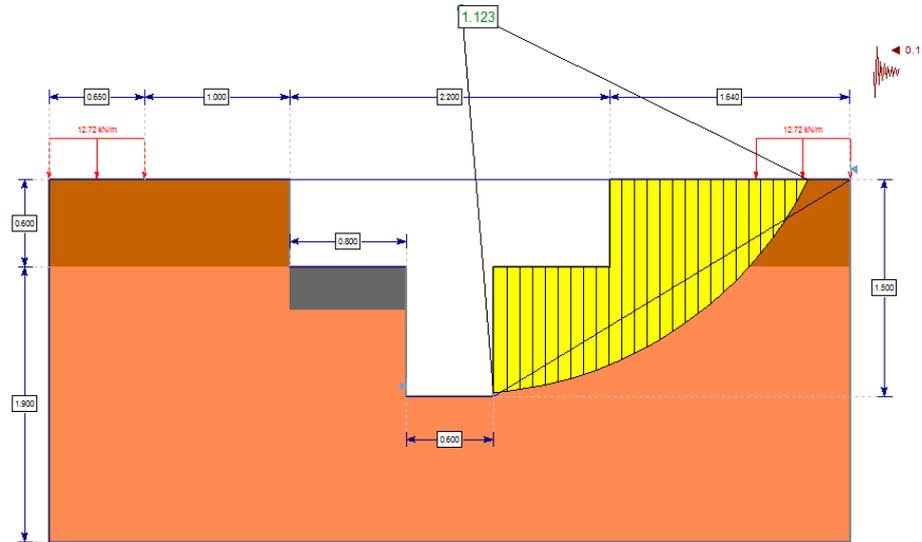
### FACTORES DE SEGURIDAD, ESTADO LÍMITE VERIFICACIÓN CONSIDERANDO SISMO

#### DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE SISMICO:

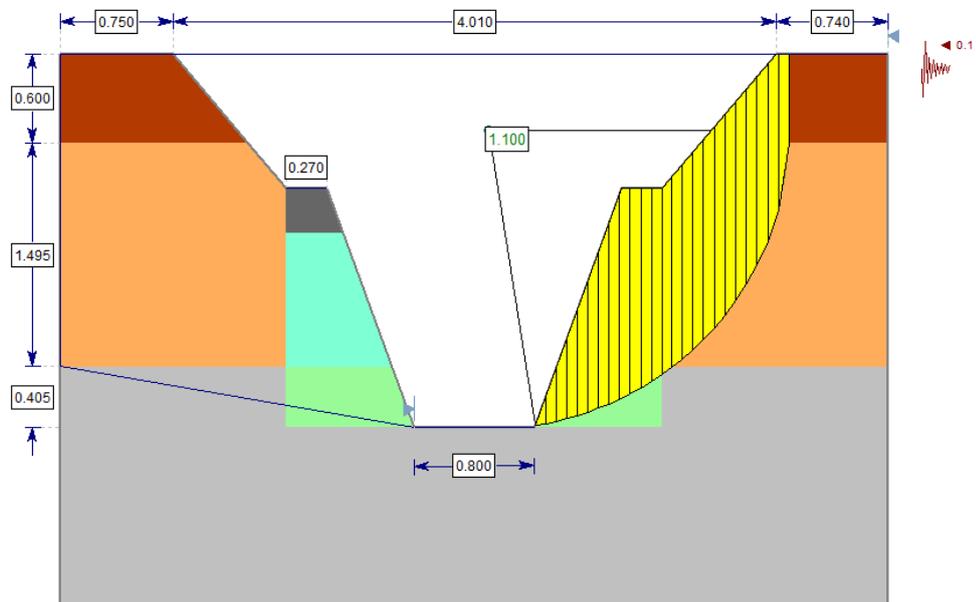
De la investigación "El coeficiente sísmico en el diseño de presas de tierra y de enrocado" de Pedro Ruesta, Jorge Díaz y Jorge Alva, donde se propone el mapa de zonificación del coeficiente sísmico que considera también para el análisis de la estabilidad de taludes y estructuras de tierra similares; por lo tanto, se considera

para el diseño de las excavaciones de la presente investigación, donde corresponde de acuerdo a la zona del proyecto el factor sísmico de 0.1.

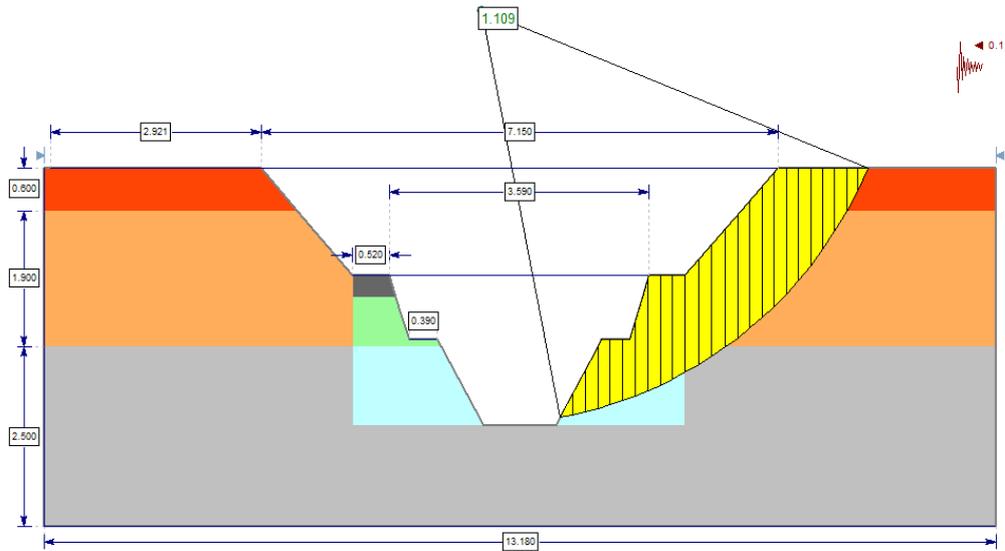
### EXCAVACIÓN TIPO I



### EXCAVACIÓN TIPO II



### EXCAVACIÓN TIPO III

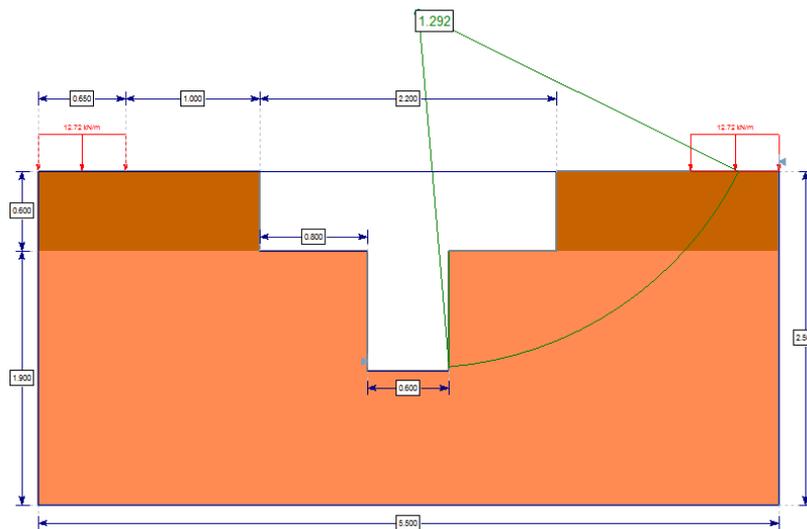


### **METODOLOGÍA CONVENCIONAL**

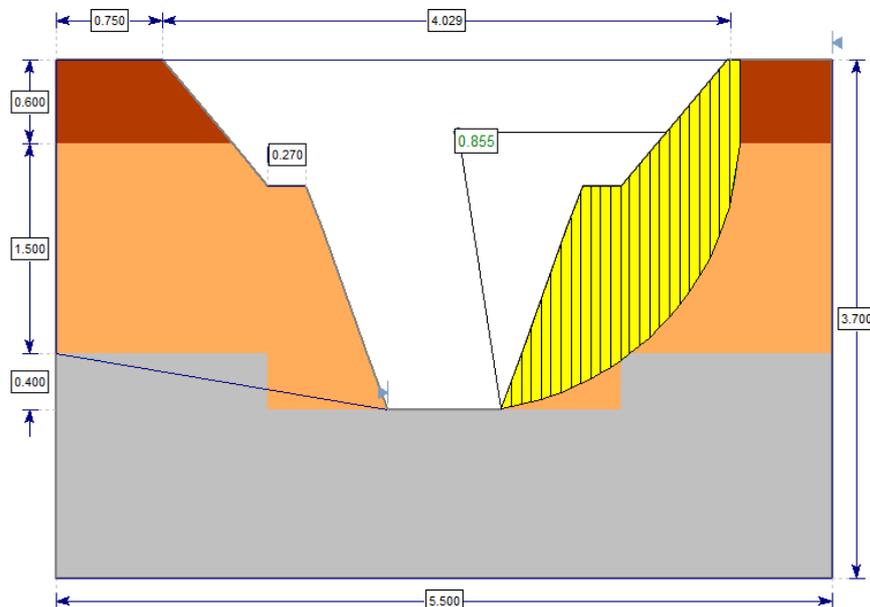
#### **FACTORES DE SEGURIDAD DEL ESTADO LÍMITE, SIN CONSIDERAR EFECTOS DEL SISMO**

De la verificación de los factores de seguridad de los diseños de excavación planteados, se tiene los siguientes factores de seguridad planteados, por el método simplificado de Bishop.

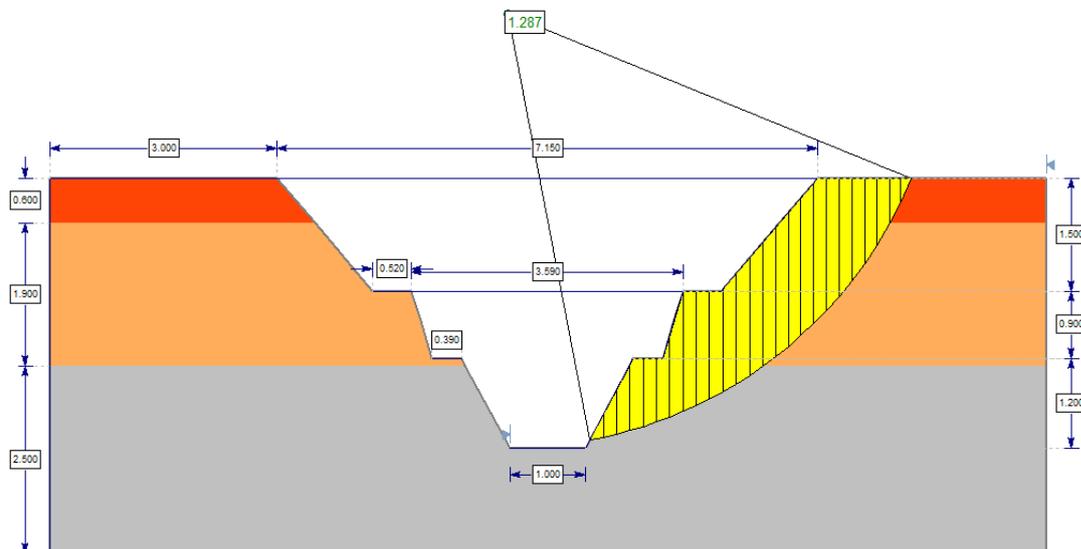
### EXCAVACIÓN TIPO I



EXCAVACIÓN TIPO II



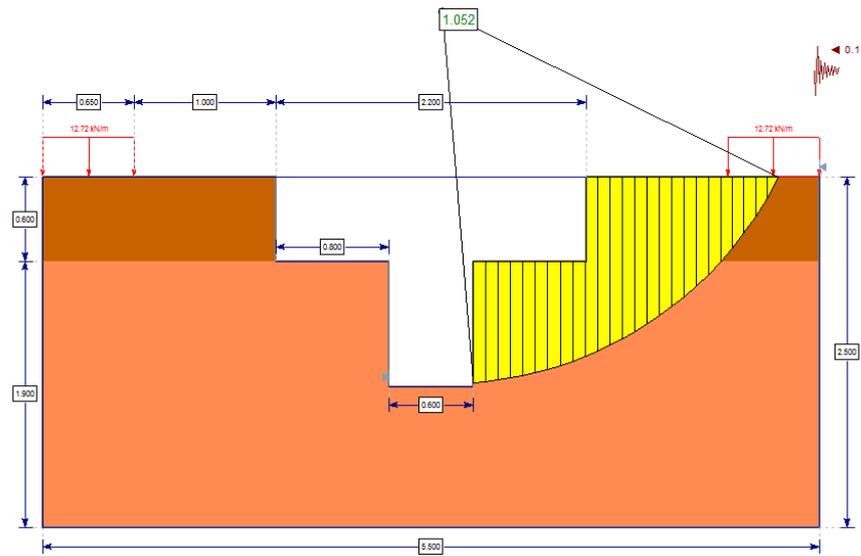
EXCAVACIÓN TIPO III



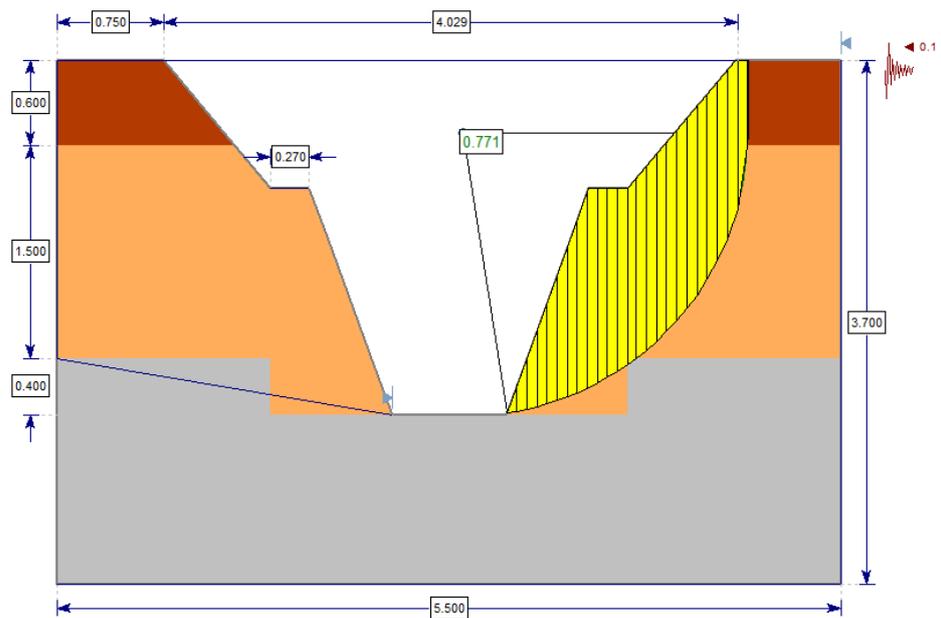
**FACTORES DE SEGURIDAD DEL ESTADO LÍMITE, CONSIDERANDO DE SISMO**

De la verificación de los factores de seguridad de los diseños de excavación planteados, se tiene los siguientes factores de seguridad planteados, por el método simplificado de Bishop.

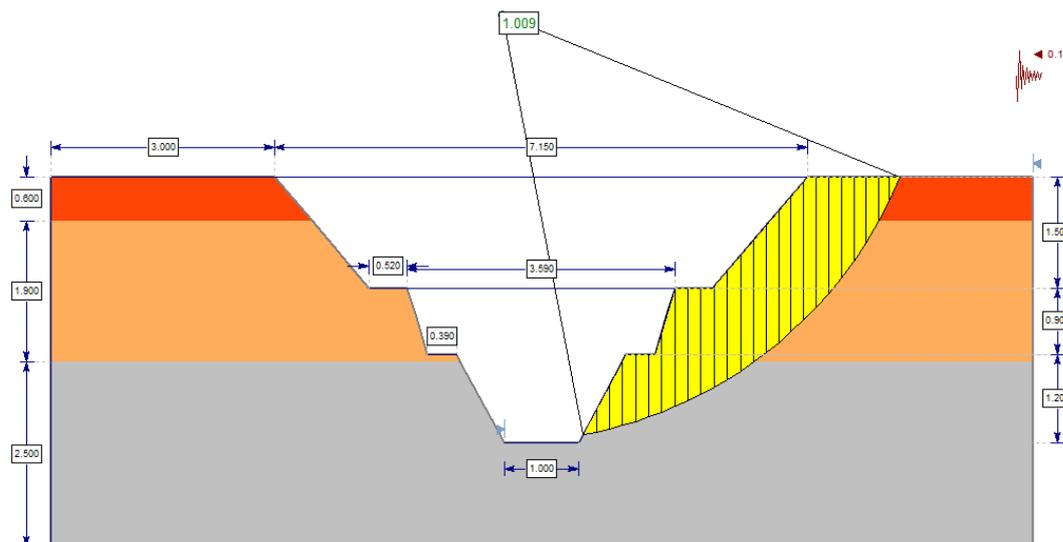
EXCAVACIÓN TIPO I



EXCAVACIÓN TIPO II



### EXCAVACIÓN TIPO III



Asimismo de la verificación de las características geotécnicas de los suelos arenosos, se tiene los siguientes valores de las características geotécnicas.

**Define Material Properties**

RIPIO  
  ARENA PRECP  
  ARENA NAT  
  ARENA DEM

Name:   
 Colour:   
 Hatch:

Unit Weight:  kN/m<sup>3</sup>  
  Saturated U.W.  kN/m<sup>3</sup>

Strength Type: Mohr-Coulomb  
  $\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi'$

Strength Parameters:

Cohesion:  kN/m<sup>2</sup>  
 Phi:  degrees

Water Parameters:

Water Surface:   
 Hu:

**Define Material Properties**

RIPIO  
  ARENA PRECP  
  ARENA NAT  
  ARENA DEN

Name: ARENA PRECP   Colour: [Dark Grey]   Hatch: [Black]

Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>    Saturated U.W.: 20 kN/m<sup>3</sup>

Strength Type: Mohr-Coulomb    $\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi'$

Strength Parameters

Cohesion: 4.903 kN/m<sup>2</sup>   Phi: 33 degrees

Water Parameters

Water Surface: None   Hu: Custom   1

Copy To...   OK   Cancel

**Define Material Properties**

RIPIO  
  ARENA PRECP  
  ARENA NAT  
  ARENA DEN

Name: ARENA NAT   Colour: [Orange]   Hatch: [Black]

Unit Weight: 14.3 kN/m<sup>3</sup>    Saturated U.W.: 20 kN/m<sup>3</sup>

Strength Type: Mohr-Coulomb    $\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi'$

Strength Parameters

Cohesion: 0 kN/m<sup>2</sup>   Phi: 32 degrees

Water Parameters

Water Surface: None   Hu: Custom   1

Copy To...   OK   Cancel

**Define Material Properties**

ARENA PRECP  ARENA NAT  ARENA DENSA  AF

Name: ARENA DENSA Colour: [Grey] Hatch: [Black]

Unit Weight: 18 kN/m<sup>3</sup>  Saturated U.W.: 20 kN/m<sup>3</sup>

Strength Type: Mohr-Coulomb  $\tau = c' + \sigma'_v \tan \phi'$

Strength Parameters

Cohesion: 4.903 kN/m<sup>2</sup> Phi: 33 degrees

Water Parameters

Water Surface: None Hu: Custom 1

Copy To... OK Cancel

**Define Material Properties**

ARENA NAT  ARENA DENSA  ARENA HUMEDA

Name: ARENA HUMEDA Colour: [Cyan] Hatch: [Black]

Unit Weight: 17.5 kN/m<sup>3</sup>  Saturated U.W.: 20 kN/m<sup>3</sup>

Strength Type: Mohr-Coulomb  $\tau = c' + \sigma'_v \tan \phi'$

Strength Parameters

Cohesion: 4.903 kN/m<sup>2</sup> Phi: 33 degrees

Water Parameters

Water Surface: None Hu: Custom 1

Copy To... OK Cancel

Define Material Properties

ARENA DENSA  ARENA HUMEDA  ARENA HUME

Name: ARENA HUME Colour:  Hatch:

Unit Weight: 18 kN/m3  Saturated U.W.: 20 kN/m3

Strength Type: Mohr-Coulomb  $\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi'$

Strength Parameters

Cohesion: 4.903 kN/m2 Phi: 33 degrees

Water Parameters

Water Surface: None Hu: Custom 1

Copy To... OK Cancel

## 8 ANEXO H: PANEL FOTOGRÁFICO IMPLEMENTACIÓN LA METODOLOGÍA DE PRECOMPACTACIÓN.

### i. CONDICIONES DE SITIO:

Viviendas, Calles angostas, líneas de agua, teléfono, electricidad y postes principalmente.



FOTO N°01: Excavación para colocación de buzón de desagüe, calle angosta viviendas contiguas.

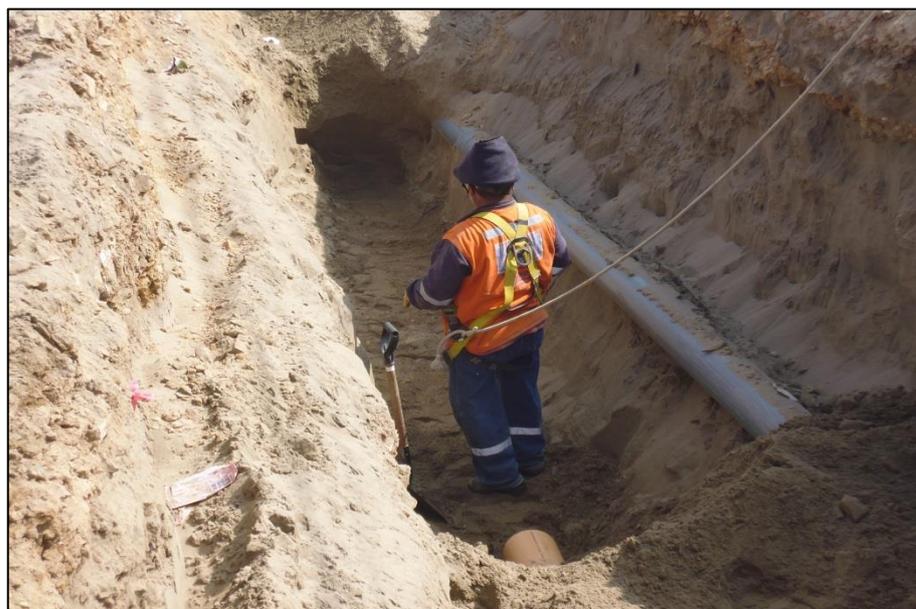


FOTO N°02: Línea de agua existente, dificulta la excavación.

## ii. METODOLOGÍA TRADICIONAL DE EXCAVACIÓN EN SUELOS ARENOSOS:

Compactación hidráulica de suelos arenosos sin racionar la cantidad de agua ni dimensionar las arroceras, uso de entibados, y se ciñe a las recomendaciones de las normas.



FOTO N°03: Arroceras para inundación con agua previa a la excavación (compactación hidráulica).



FOTO N°04: Arroceras para inundación con agua previa a la excavación (compactación hidráulica en suelos arenosos).



FOTO N°05: Entibados para excavación, su uso garantiza la seguridad mas no favorece la producción.



FOTO N°06: Cisterna de agua para compactación hidráulica, excavación inmediata a la colocación de agua.



FOTO N°07: Excavación inmediata a la colocación de agua en arrozceras.



FOTO N°08: Arroceras para compactación hidráulica sin dimensiones definidas.



FOTO N°09: Compactación hidráulica sin racionamiento de agua determinado.



FOTO N°10: Sobre excavación a pesar del uso de entibado.



FOTO N°11: Necesidad de usar cantidad suficiente de entibados en excavaciones profundas.



FOTO N°12: Sobre excavaciones y movimiento de material no previsto.



FOTO N°13: Necesidad de usar equipos pesados para mover entibados (camión grúa o excavadora)

### iii. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PRECOMPACTACIÓN):

De la aplicación de la metodología propuesta se definió 3 tipos de excavaciones, de acuerdo a la profundidad de instalación de tuberías, Tipo I, Tipo II y Tipo III.

#### EXCAVACIÓN TIPO I ( $H < 1.50\text{m}$ )

##### Aplicación excavación tipo I – 001



FOTO N°14: Prueba de aplicación de la metodología propuesta con mini excavadora (TI-001).



FOTO N°15: Prueba de aplicación de la metodología propuesta con mini excavadora (TI-001).



FOTO N°16: Prueba de aplicación de la metodología propuesta con mini excavadora (TI-001).

### Aplicación excavación tipo I – 002



FOTO N°17: Aplicación de la metodología propuesta en red de alcantarillado (TI-002).

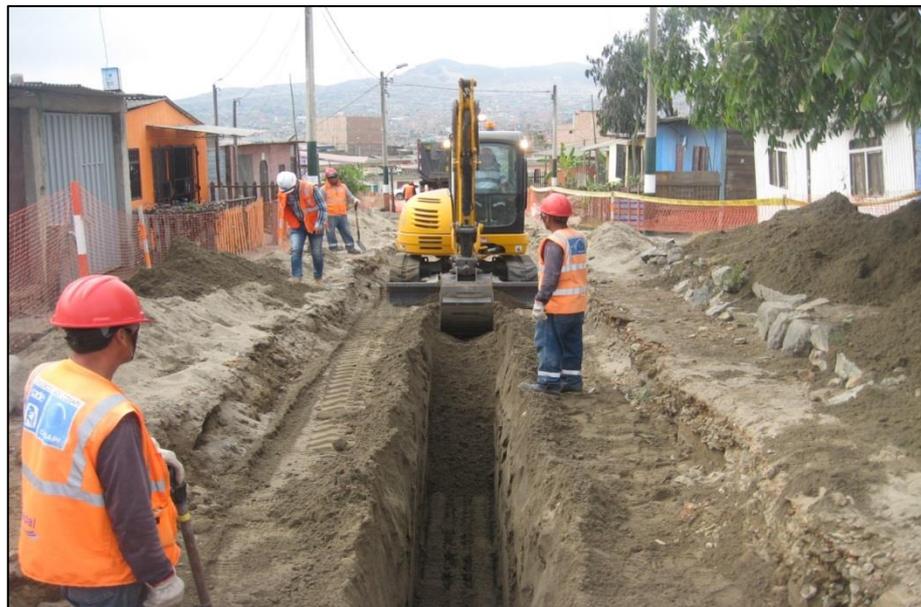


FOTO N°18: Excavación tipo I en red de alcantarillado (TI-002).

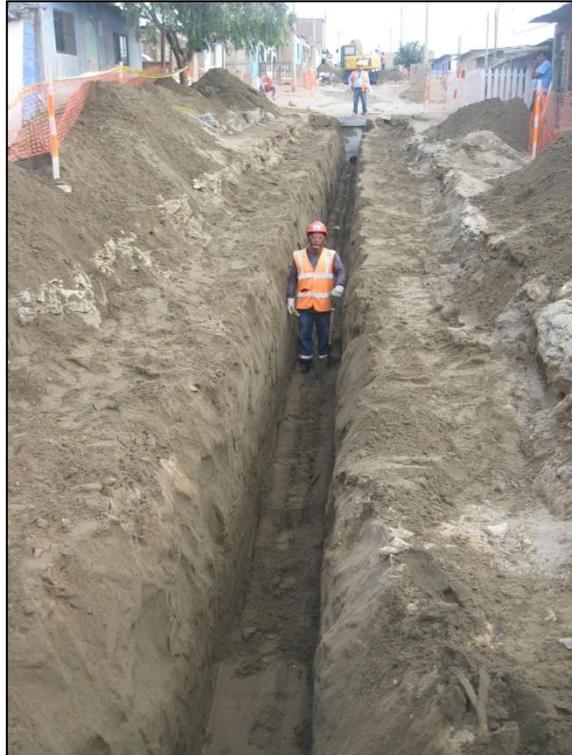


FOTO N°19: Culminación de excavación tipo I en red de alcantarillado previo a la colocación de tubería (TI.002).

### Aplicación excavación tipo I – 003



FOTO N°20: Aplicación de excavación tipo I en red de agua potable, trazo de eje (T-003).



FOTO N°21: Aplicación de excavación tipo I en red de agua potable, trazo de eje (TI-003).



FOTO N°22: Precompactación con plancha compactadora, excavación tipo I en red de agua potable (TI-003).



FOTO N°23: Instalación de tubería, excavación tipo I en red de agua potable (TI-003).

#### Aplicación excavación tipo I – 004

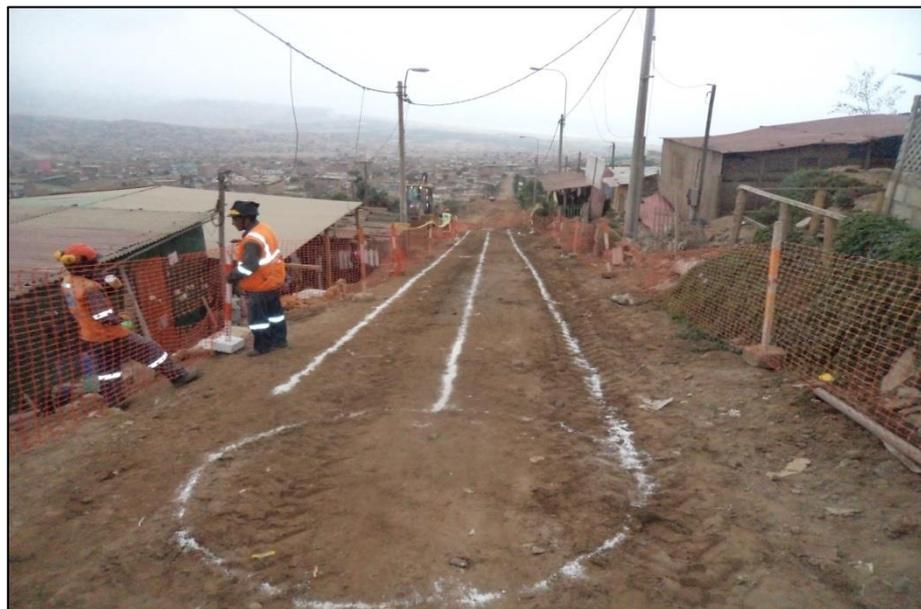


FOTO N°24: Trazo de eje de la red, excavación tipo I en red alcantarillado (TI-004).



FOTO N°25: Excavación y retiro de material lastrado previo a la precompactación (TI-004)



FOTO N°26: Precompactación con plancha vibratoria (TI-004).

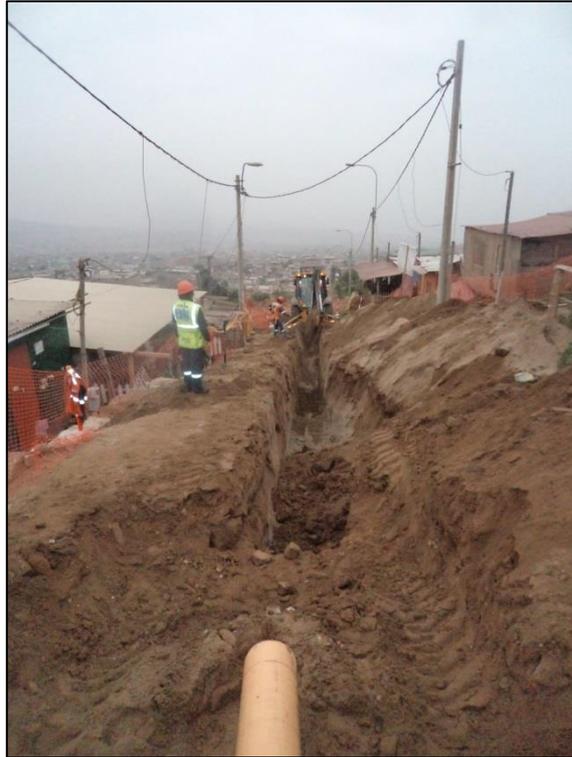


FOTO N°27: Excavación culminada de aplicación (TI-004).

### Aplicación excavación tipo I – 005



FOTO N°28: Zona de aplicación de excavación tipo I, en red de alcantarillado (TI-005).



FOTO N°29: Excavación tipo I en red de alcantarillado (TI-005).



FOTO N°30: Excavación tipo I en red de alcantarillado (TI-005).

## EXCAVACIÓN TIPO II ( $1.50\text{m} < H < 2.50\text{m}$ )

### Aplicación excavación tipo II – 001



FOTO N°31: Arroceras en aplicación de excavación tipo II en red de alcantarillado (TII-001).



FOTO N°32: Precompactación con plancha vibratoria previo a la excavación tipo II en red de alcantarillado (TII-001).



FOTO N°33: Colocación de tubería en excavación tipo II de red de alcantarillado (TII-001).

### Aplicación excavación tipo II – 002



FOTO N°34: Arroceras en aplicación de excavación tipo II en red de alcantarillado (TII-002).



FOTO N°35: Demolición y nivelación de arroceras en aplicación de excavación tipo II en red de alcantarillado (TII-002).



FOTO N°36: Precompactación con plancha vibratoria previo a la excavación tipo II en red de alcantarillado (TII-002).



FOTO N°37: Efecto de la precompactación con plancha vibratoria previo a la excavación tipo II en red de alcantarillado (TII-002).



FOTO N°38: Efecto de la precompactación con plancha vibratoria previo a la excavación tipo II en red de alcantarillado, hundimiento de 10cm (TII-002).



FOTO N°39: Culminación de excavación tipo II de red de alcantarillado (TII-002).



FOTO N°40: Culminación de excavación tipo II de red de alcantarillado (TII-002).

### Aplicación excavación tipo II – 003



FOTO N°41: Arroceras en aplicación de excavación tipo II en red de alcantarillado (TII-003).

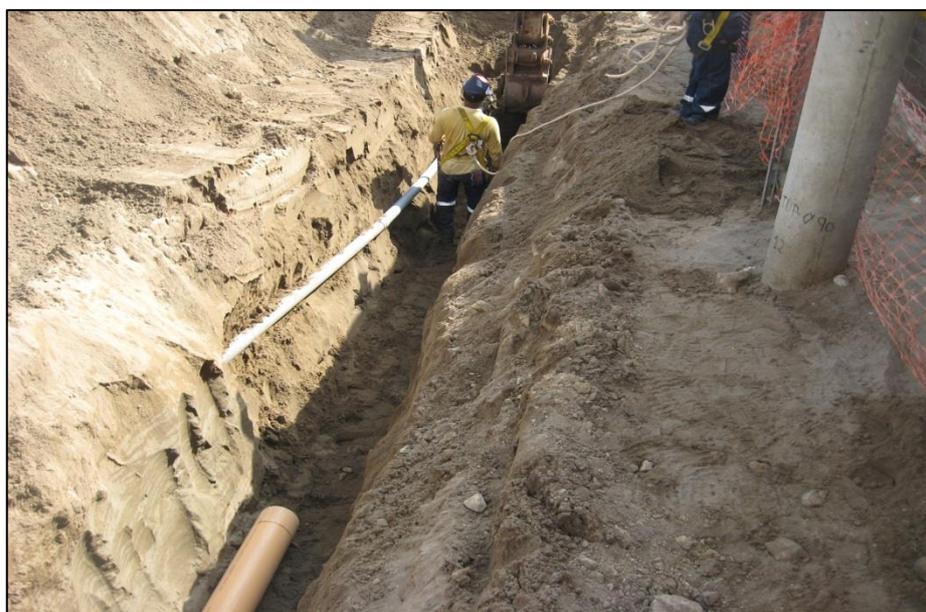


FOTO N°42: Culminación de excavación tipo II de red de alcantarillado (TII-003).



FOTO N°43: Culminación de excavación tipo II de red de alcantarillado(TII-003).

#### Aplicación excavación tipo II – 004



FOTO N°44: Arroceras en aplicación de excavación tipo II en red de alcantarillado (TII-004).

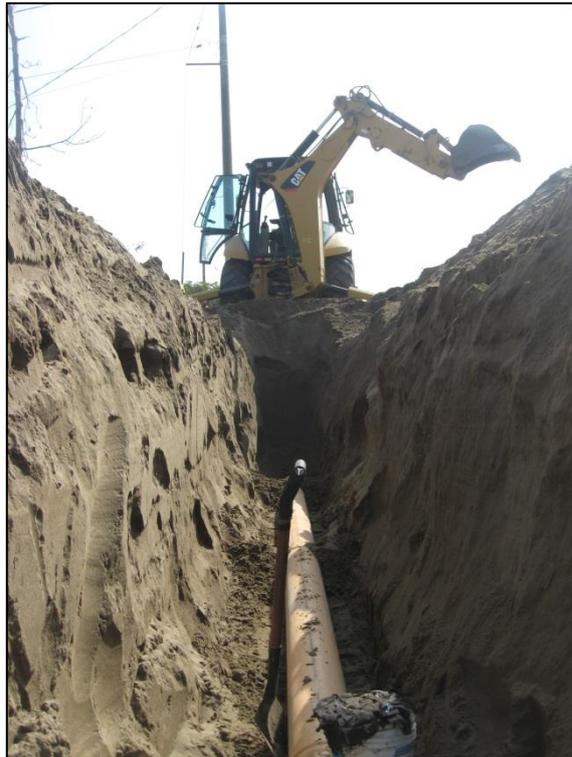


FOTO N°43: Culminación de excavación tipo II de red de alcantarillado(TII-004).

### Aplicación excavación tipo II – 005



FOTO N°43: Culminación de excavación tipo II de red de alcantarillado (TII-005).

## EXCAVACIÓN TIPO III ( 2.50m < H ) Aplicación excavación tipo III – 001



FOTO N°44: Demolición y nivelación de arroceras, excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-001).

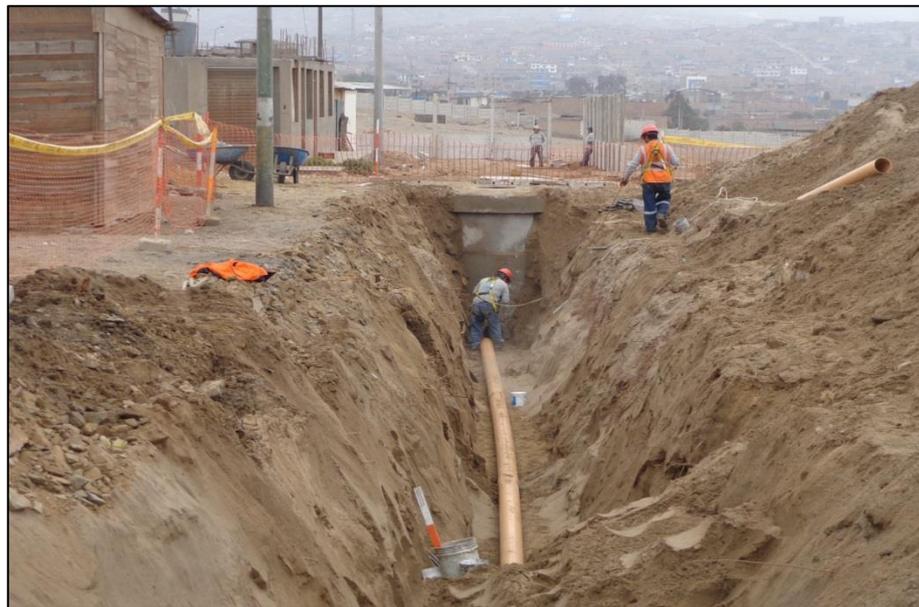


FOTO N°45: Culminación de excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-001).

### Aplicación excavación tipo III – 002



FOTO N°46: Arroceras y colocación de agua en aplicación de excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-002).



FOTO N°47: Demolición y nivelación de arroceras, excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-002).



FOTO N°48: Precompactación con plancha vibratoria en aplicación de excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-002).



FOTO N°49: Efecto de la Precompactación con plancha vibratoria en aplicación de excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-002).



FOTO N°50: Culminación de aplicación de excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-002).



FOTO N°51: Culminación de aplicación de excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-002).



FOTO N°52: Culminación de aplicación de excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-002).

### Aplicación excavación tipo III – 003



FOTO N°53: Arroceras en aplicación de excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-003).



FOTO N° 54: Colocación de agua en arroceras de aplicación de excavación tipo III en red de alcantarillado (TIII-003).



FOTO N° 55: Precompactación con plancha vibratoria previo a la aplicación de excavación tipo III (TIII-003).



FOTO N° 56: Culminación de la aplicación de excavación tipo III (TIII-003).



FOTO N° 57: Culminación de la aplicación de excavación tipo III (TIII-003).

## **9 ANEXO I: ENSAYOS DE LABORATORIO Y FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS EMPLEADOS.**

ENSAYOS FISICOS

ENSAYOS MECANICOS



## INFORME DE ENSAYO

**SOLICITANTE :** INCORP SAC      **EXPEDIENTE :** 083-2014/PEINSAC  
**DIRECCIÓN :** Av. Los Químicos Mz. A Lt 1 AH El Mirador, Ventanilla, Callao      **PROYECTO :** Ampliación y Mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado para el macro proyecto Pachacutec del distrito de Ventanilla -  
**FECHA DE RECEPCIÓN :** Lima, 10 de septiembre del 2014      **UBICACIÓN :** Ventanilla, Callao.

**ASTM D 3080 - 04**

**CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS**

### REFERENCIAS DE LA MUESTRA

**IDENTIFICACIÓN :** Calicata C-01      **PRESENTACIÓN :** 02 Bolsa de polietileno  
**DESCRIPCIÓN :** Arena mal Graduada      **DESCRIPCIÓN :** 80 kg aprox.

ESFUERZO NORMAL	49.0 kPa		98,1 kPa		196,1 kPa	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Etapa						
Altura (cm)	2.50	2.46	2.50	2.44	2.50	2.42
Volumen (cm <sup>3</sup> )	79.38	78.14	79.38	77.59	79.38	76.91
Humedad (%)	6.1	17.4	6.1	16.2	6.1	13.7
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.588	1.613	1.588	1.624	1.588	1.638
Esfuerzo Corte (kPa)	30.6		63.8		124.8	

Desplaz. Horizontal (mm)	ESFUERZO NORMAL 49.0 kPa				ESFUERZO NORMAL 98,1 kPa				ESFUERZO NORMAL 196,1 kPa			
	Desplaz. Vertical (mm)	Lectura Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kPa)	Desplaz. Vertical (mm)	Lectura Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kPa)	Desplaz. Vertical (mm)	Lectura Dial Fuerza	Fuerza (kg)	Esfuerzo Corte (kPa)
0.00	0.250	0.0	0.0	0.0	0.348	0.0	0.0	0.0	0.366	0.0	0.0	0.0
0.50	0.253	5.2	2.4	7.4	0.398	14.0	6.4	20.0	0.445	33.5	15.2	47.8
1.00	0.262	8.3	3.8	11.9	0.440	22.3	10.1	31.9	0.504	46.9	21.3	67.0
1.50	0.279	10.5	4.8	15.0	0.440	31.2	14.2	44.6	0.542	53.6	24.3	76.6
2.00	0.305	14.1	6.4	20.2	0.496	34.7	15.7	49.6	0.569	57.0	25.8	81.4
2.50	0.314	15.5	7.0	22.2	0.515	37.6	17.1	53.8	0.592	60.3	27.4	86.2
3.00	0.331	15.8	7.2	22.6	0.537	39.8	18.1	56.9	0.608	64.2	29.1	91.8
3.50	0.348	15.9	7.2	22.8	0.545	42.0	19.0	60.0	0.627	67.6	30.7	96.6
4.00	0.359	16.3	7.4	23.2	0.548	43.2	19.6	61.7	0.672	71.5	32.4	102.2
4.50	0.365	17.0	7.7	24.3	0.551	44.2	20.1	63.2	0.682	74.9	34.0	107.0
5.00	0.369	16.5	7.5	23.5	0.555	44.5	20.2	63.6	0.710	78.2	35.5	111.8
5.50	0.373	16.5	7.5	23.5	0.557	44.6	20.2	63.8	0.725	80.5	36.5	114.9
6.00	0.377	17.0	7.7	24.3	0.558	44.4	20.1	63.4	0.738	82.7	37.5	118.1
6.50	0.381	18.1	8.2	25.8	0.559	44.4	20.1	63.4	0.752	84.9	38.5	121.3
7.00	0.385	18.8	8.5	26.9	0.560	44.3	20.1	63.3	0.759	87.4	39.6	124.8
7.50	0.388	19.8	9.0	28.3	0.561	44.2	20.0	63.1	0.767	86.6	39.3	123.7
8.00	0.388	20.5	9.3	29.2	0.561	44.6	20.2	63.7	0.771	85.9	38.9	122.7

### OBSERVACIONES:

- Muestra tomada e identificada por el personal de PEINSAC.
- La "Humedad" de trabajo con la cual se moldearon los especímenes, corresponde a la humedad natural.
- Ensayo realizado al material pasante la malla N° 4.

Fecha de emisión : Lima, 15 de septiembre del 2014

Tec.: P.F.G.

El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento.

Rev.: B.C.S.



**ROBERTO JELLO BARBARAN**  
 ING. Civil  
 Reg. CIP 67846  
 ESPECIALISTA EN SUELOS,  
 CANTERAS Y PAVIMENTOS

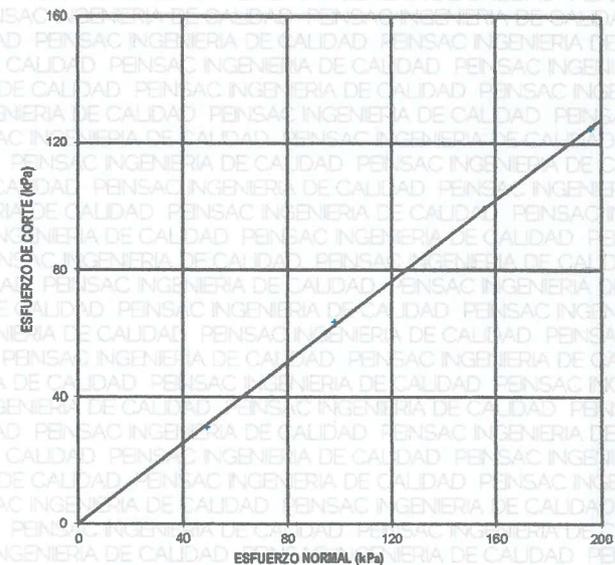
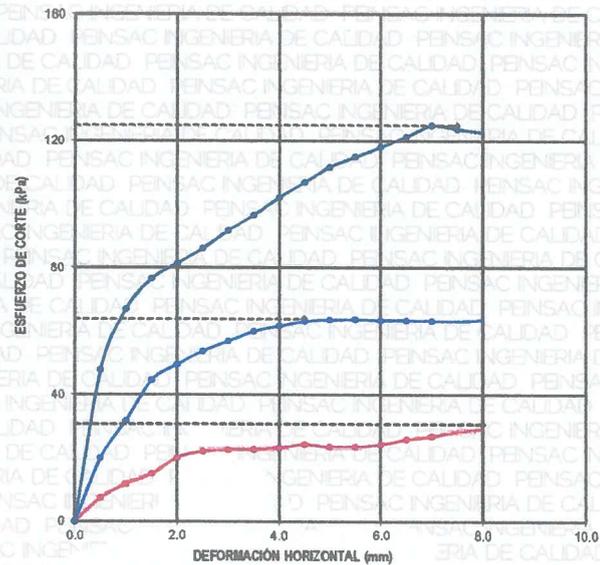
## INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : INCORP SAC	EXPEDIENTE : 083-2014/PEINSAC
DIRECCIÓN : Av. Los Químicos Mz. A Lt 1 AH El Mirador, Ventanilla, Callao	PROYECTO : Ampliación y Mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado para el macro proyecto Pachacutec del distrito de ventanilla -
FECHA RECEPCIÓN : Lima, 10 de septiembre del 2014	UBICACIÓN : Ventanilla, Callao.

**ASTM D 3080 - 04      CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS**

**REFERENCIAS DE LA MUESTRA**

IDENTIFICACIÓN : Calicata C-01	PRESENTACIÓN : 02 Bolsa de polietileno
DESCRIPCIÓN : Arena mal Graduada	DESCRIPCIÓN : 80 kg aprox.



RESULTADOS DE ENSAYO			
COHESIÓN (kPa)	0.09	ANGULO DE FRICCIÓN (°)	32.5
COHESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	0.00		

Fecha de emisión : Lima, 15 de septiembre del 2014

Tec.: P.F.G.

El solicitante asume toda responsabilidad del uso de la información contenida en este documento.

Rev.: B.C.S.

  
**ROBERTO TELLO BARBARÁN**  
 ING. Civil  
 Reg. CIP 67846  
**ESPECIALISTA EN SUELOS,  
 CANTERAS Y PAVIMENTOS**



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
(ASTM - D3080)**

**INFORME N°** : TC-026-LG-008-2015  
**SOLICITANTE** : CONSORCIO SADE-COSAPI  
**DIRECCIÓN** : AV. REPÚBLICA DE COLOMBIA 391 SAN ISIDRO - LIMA  
**PROYECTO** : AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA  
**UBICACIÓN** : PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA, CDP-1  
**CALICATA** : SPT-1  
**MUESTRA** : M - 1  
**PROFUNDIDAD (m)** : 2.15 - 2.75  
**CLASIFICACION (S.U.C.S.)** : SP **FECHA DE RECEPCIÓN:** 14/02/2015  
**ESTADO** : REMOLDEADO / PARCIALMENTE SATURADO **FECHA DE ENSAYO** : 16/02/2015  
**VELOC. DE ENSAYO** : 0.50 **FECHA DE EMISIÓN** : 16/02/2015

DATOS DEL ESPECIMEN			ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura (h)	(cm)		2.12	2.10	2.12	2.08	2.12	2.06
Ancho (φ)	(cm)		6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	(g/cm <sup>3</sup> )		1.54	1.56	1.54	1.56	1.54	1.56
Humedad (ω)	(%)		0.12	25.41	0.12	24.74	0.12	25.00
Esfuerzo Normal	(Kg/cm <sup>2</sup> )		0.50		1.00		1.50	
ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.02	0.04	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02
0.10	0.04	0.07	0.10	0.06	0.06	0.10	0.08	0.05
0.20	0.06	0.11	0.20	0.11	0.11	0.20	0.14	0.09
0.35	0.08	0.15	0.35	0.18	0.18	0.35	0.23	0.15
0.50	0.11	0.22	0.50	0.24	0.24	0.50	0.30	0.20
0.75	0.18	0.37	0.75	0.33	0.33	0.75	0.41	0.27
1.00	0.22	0.43	1.00	0.41	0.41	1.00	0.51	0.34
1.25	0.24	0.48	1.25	0.47	0.47	1.25	0.61	0.40
1.50	0.26	0.52	1.50	0.54	0.54	1.50	0.66	0.44
1.75	0.29	0.59	1.75	0.58	0.58	1.75	0.73	0.49
2.00	0.32	0.63	2.00	0.63	0.63	2.00	0.71	0.48
2.50	0.34	0.68	2.50	0.69	0.69	2.50	0.77	0.52
3.00	0.36	0.72	3.00	0.73	0.73	3.00	0.83	0.56
3.50	0.38	0.77	3.50	0.69	0.69	3.50	0.87	0.58
4.00	0.39	0.79	4.00	0.71	0.71	4.00	0.90	0.60
4.50	0.41	0.81	4.50	0.72	0.72	4.50	0.92	0.62
5.00	0.41	0.81	5.00	0.73	0.73	5.00	0.94	0.63
6.00	0.39	0.79	6.00	0.72	0.72	6.00	0.98	0.66
7.00	0.38	0.77	7.00	0.69	0.69	7.00	1.00	0.67
8.00	0.37	0.74	8.00	0.74	0.74	8.00	1.03	0.69
9.00	0.36	0.72	9.00	0.74	0.74	9.00	1.04	0.69
10.00	0.34	0.68	10.00	0.74	0.74	10.00	1.03	0.69
11.00	0.35	0.70	11.00	0.73	0.73	11.00	1.01	0.68
12.00	0.35	0.70	12.00	0.72	0.72	12.00	0.98	0.66
13.00	0.35	0.70	13.00	0.71	0.71	13.00	0.94	0.63
			14.00	0.71	0.71	14.00	0.94	0.63
			15.00	0.71	0.71	15.00	0.94	0.63

OBSERVACIÓN: Densidad Seca = 1.540 g/cm<sup>3</sup>, Humedad = 0.12%

La muestra ha sido ensayada en estado alterado, suelto y húmeda a temperatura ambiente, obtenida en campo por el consultor.

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006)

**TCINGE S.A.C.**

Philippe Johan Lopez Lopez  
Técnico de Laboratorio



CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. GIP N° 67848

INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

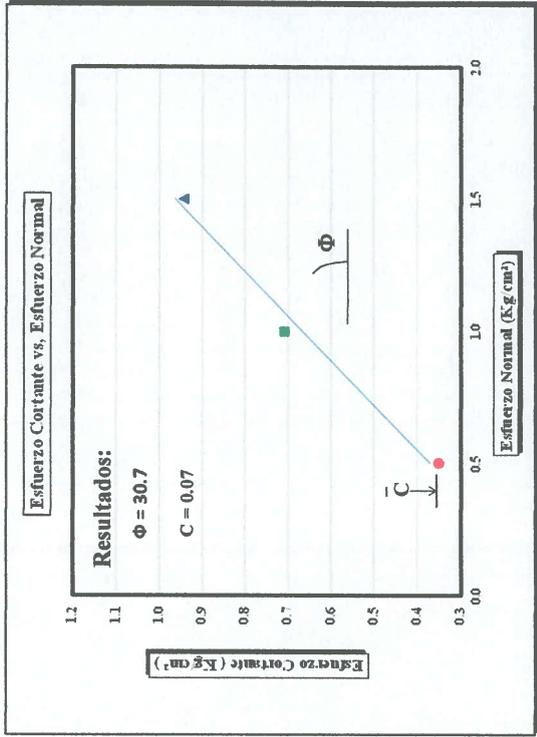
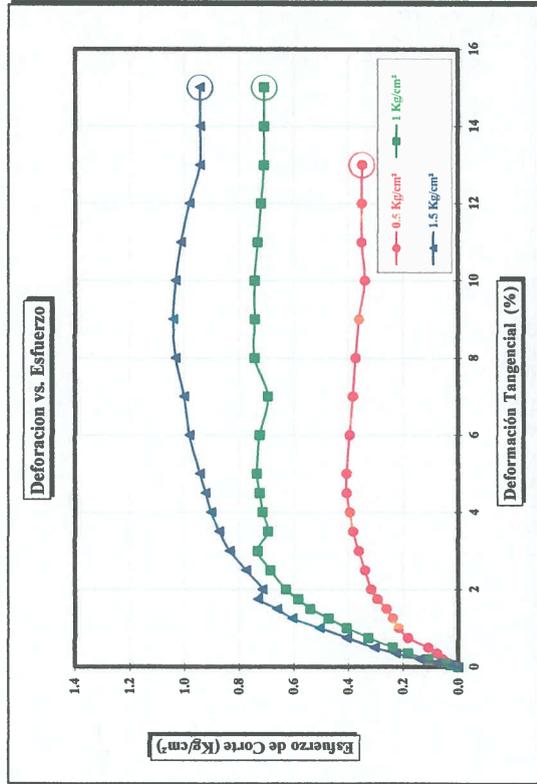
Lima 25 Telefax : 01-5796223 Celular : 996195307 998022655

ingenieria@tcinge.com

www.tcinge.com

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
(ASTM - D3080)**

INFORME N° : TC-026-LG-008-2015  
 SOLICITANTE : CONSORCIO SADE-COSAPI  
 DIRECCIÓN : AV. REPÚBLICA DE COLOMBIA 391 SAN ISIDRO - LIMA  
 PROYECTO : AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA  
 UBICACIÓN : PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA, CDP-1  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 14/02/2015  
 FECHA DE ENSAYO : 16/02/2015  
 CALICATA : SPT-1  
 MUESTRA : M - 1  
 PROFUNDIDAD (m) : 2.15 - 2.75  
 CLASIFICACION (SUCS) : SP  
 ESTADO : REMOLDEADO / PARCIALMENTE SATURADO  
 FECHA DE EMISION : 16/02/2015



OBSERVACIÓN: Densidad Seca = 1,540 g/cm<sup>3</sup> , Humedad = 0.12%.

La muestra ha sido ensayada en estado alterado, suelo y humedad a temperatura ambiente, obtenida en campo por el consultor.  
 El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006 )

**TCINGE S.A.C.**

Philippe Johan Lopez Lopez  
 Técnico de Laboratorio



**CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 67848

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
(ASTM - D3080)**

**INFORME N°** : TC-230-LG-152-2014  
**SOLICITANTE** : COSAPI  
**DIRECCIÓN** : Calle República de Colombia 791, San Isidro 15046  
**PROYECTO** : AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA - CAMARA DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES CDP-03  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE VENTANILLA  
**CALICATA** : SPT-1  
**MUESTRA** : M - 5  
**PROFUNDIDAD (m)** : 5.00 - 5.40  
**CLASIFICACION (S.U.C.S.)** : ARENA MAL GRADUADA CON LIMO SP-SM **FECHA DE RECEPCIÓN:** 09/12/2014  
**ESTADO** : REMOLDEADO / PARCIALMENTE SATURADO **FECHA DE ENSAYO** : 09/12/2014  
**VELOC. DE ENSAYO** : 0.50 **FECHA DE EMISIÓN** : 10/12/2014

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03		
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
Altura (h)	(cm)	2.12	2.11	2.12	2.10	2.12	2.09	
Ancho (φ)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	(g/cm <sup>3</sup> )	1.54	1.55	1.54	1.56	1.54	1.56	
Humedad (ω)	(%)	0.34	24.38	0.34	22.57	0.34	22.92	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm <sup>2</sup> )	0.50		1.00		1.50		
ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.02	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.02
0.10	0.04	0.07	0.10	0.08	0.08	0.10	0.06	0.04
0.20	0.08	0.15	0.20	0.12	0.12	0.20	0.11	0.07
0.35	0.12	0.24	0.35	0.22	0.22	0.35	0.22	0.14
0.50	0.18	0.37	0.50	0.29	0.29	0.50	0.28	0.19
0.75	0.28	0.56	0.75	0.41	0.41	0.75	0.38	0.26
1.00	0.35	0.70	1.00	0.51	0.51	1.00	0.54	0.36
1.25	0.39	0.79	1.25	0.60	0.60	1.25	0.67	0.45
1.50	0.43	0.86	1.50	0.70	0.70	1.50	0.73	0.49
1.75	0.45	0.90	1.75	0.74	0.74	1.75	0.82	0.55
2.00	0.47	0.95	2.00	0.73	0.73	2.00	0.90	0.60
2.50	0.50	0.99	2.50	0.80	0.80	2.50	1.03	0.69
3.00	0.51	1.01	3.00	0.84	0.84	3.00	1.12	0.75
3.50	0.50	0.99	3.50	0.87	0.87	3.50	1.20	0.80
4.00	0.50	0.99	4.00	0.88	0.88	4.00	1.25	0.83
4.50	0.47	0.95	4.50	0.88	0.88	4.50	1.28	0.85
5.00	0.46	0.92	5.00	0.89	0.89	5.00	1.28	0.85
6.00	0.44	0.88	6.00	0.85	0.85	6.00	1.18	0.79
7.00	0.42	0.83	7.00	0.79	0.79	7.00	1.05	0.70
8.00	0.39	0.79	8.00	0.76	0.76	8.00	1.00	0.67
9.00	0.37	0.74	9.00	0.72	0.72	9.00	0.99	0.66
10.00	0.37	0.74	10.00	0.69	0.69	10.00	0.99	0.66
11.00	0.36	0.72	11.00	0.70	0.70	11.00	1.00	0.67
12.00	0.36	0.72	12.00	0.70	0.70	12.00	0.99	0.66
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

OBSERVACIÓN: La muestra ha sido ensayada en estado alterado, suelto y húmeda a temperatura ambiente, obtenida en campo por el consultor.

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2:006).



JOHAN LOPEZ LOPEZ  
TECNICO DE LABORATORIO



CARLOS ALBERTO TUPIA CORDOVA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. C.I.R. N° 67848

CARLOS A. TUPIA CORDOVA  
INGENIERO RESPONSABLE

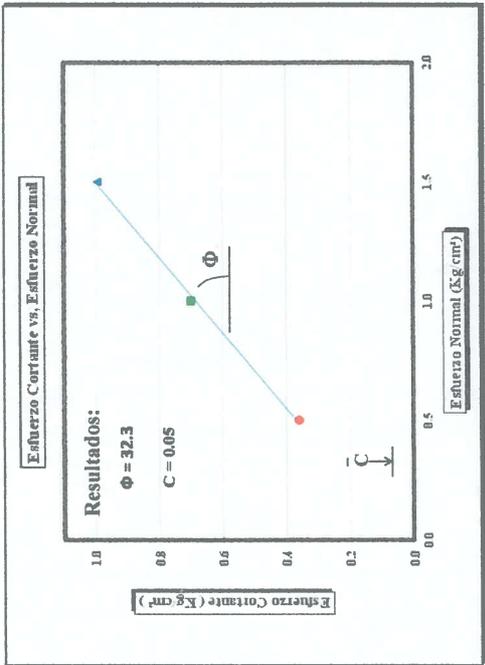
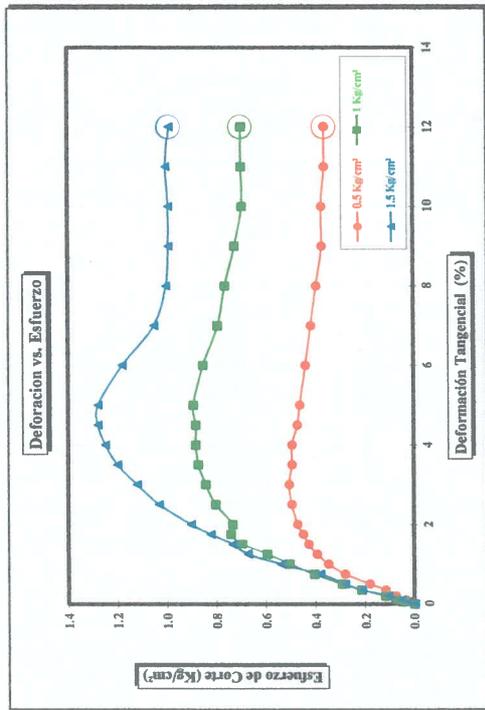
INFORME DE ENSAYO EMITIDO EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN NUESTRO LABORATORIO VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA PROPORCIONADA, NO DEBE SER UTILIZADO COMO CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Lima 25 Telefax : 01-4817775 Celular : 996195307 998022655

ingenieria@tcinge.com  
www.tcinge.com

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
(ASTM - D3080)

INFORME N° : TC-230-LG-152-2014  
 SOLICITANTE : COSAPI  
 DIRECCIÓN : Calle República de Colombia 791, San Isidro 15046  
 PROYECTO : AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA - CAMARA DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES CDP-49  
 UBICACIÓN : DISTRITO DE VENTANILLA  
 CALICATA : SPT-1  
 MUESTRA : M - 5  
 PROFUNDIDAD (m) : 5.00 - 5.40  
 CLASIFICACIÓN (SUCS) : ARENA MAL GRADUADA CON LIMO SP-SM  
 ESTADO : REMOLDEADO / PARCIALMENTE SATURADO  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 09/12/2014  
 FECHA DE EMISION : 10/12/2014



OBSERVACIONES: Este ensayo se realizó en estado alterado, suelo y humedad a temperatura ambiente, obtenida en campo por el consultor. Los resultados obtenidos no deben reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025:2006).



JOHAN LOPEZ LOPEZ  
TECNICO DE LABORATORIO



CARLOS A. TUPIA CORDOVA  
INGENIERO RESPONSABLE

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO  
(ASTM - D3080)**

**INFORME N°** : TC-029-LG-009-2015  
**SOLICITANTE** : CONSORCIO SADE-COSAPI  
**DIRECCIÓN** : AV. REPÚBLICA DE COLOMBIA 391 SAN ISIDRO - LIMA  
**PROYECTO** : AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA  
**UBICACIÓN** : PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA, CDP-47  
**CALICATA** : SPT-1  
**MUESTRA** : M - 3  
**PROFUNDIDAD (m)** : 2.35 - 2.85  
**CLASIFICACION (S.U.C.S.)** : SP **FECHA DE RECEPCIÓN:** 18/02/2015  
**ESTADO** : REMOLDEADO / PARCIALMENTE SATURADO **FECHA DE ENSAYO** : 18/02/2015  
**VELOC. DE ENSAYO** : 0.50 **FECHA DE EMISIÓN** : 19/02/2015

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03		
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
Altura (h)	(cm)	2.12	2.08	2.12	2.08	2.12	2.07	
Ancho (φ)	(cm)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
Densidad Seca (γ <sub>d</sub> )	(g/cm <sup>3</sup> )	1.58	1.61	1.58	1.62	1.58	1.62	
Humedad (ω)	(%)	0.47	23.65	0.47	24.32	0.47	23.65	
Esfuerzo Normal	(Kg/cm <sup>2</sup> )	0.50		1.00		1.50		
ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado	Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normalizado
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.02	0.04	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02
0.10	0.05	0.09	0.10	0.07	0.07	0.10	0.07	0.04
0.20	0.08	0.15	0.20	0.11	0.11	0.20	0.13	0.09
0.35	0.13	0.26	0.35	0.20	0.20	0.35	0.24	0.16
0.50	0.16	0.32	0.50	0.26	0.26	0.50	0.33	0.22
0.75	0.20	0.41	0.75	0.36	0.36	0.75	0.42	0.28
1.00	0.25	0.50	1.00	0.44	0.44	1.00	0.52	0.34
1.25	0.27	0.54	1.25	0.50	0.50	1.25	0.61	0.40
1.50	0.28	0.56	1.50	0.53	0.53	1.50	0.69	0.46
1.75	0.30	0.61	1.75	0.58	0.58	1.75	0.74	0.50
2.00	0.32	0.63	2.00	0.62	0.62	2.00	0.72	0.48
2.50	0.34	0.68	2.50	0.67	0.67	2.50	0.80	0.54
3.00	0.36	0.72	3.00	0.73	0.73	3.00	0.85	0.57
3.50	0.37	0.74	3.50	0.69	0.69	3.50	0.89	0.60
4.00	0.39	0.79	4.00	0.72	0.72	4.00	0.92	0.62
4.50	0.41	0.81	4.50	0.74	0.74	4.50	0.95	0.64
5.00	0.41	0.81	5.00	0.76	0.76	5.00	0.97	0.65
6.00	0.41	0.81	6.00	0.77	0.77	6.00	1.00	0.67
7.00	0.42	0.83	7.00	0.78	0.78	7.00	1.04	0.69
8.00	0.42	0.83	8.00	0.77	0.77	8.00	1.07	0.71
9.00	0.42	0.83	9.00	0.75	0.75	9.00	1.05	0.70
10.00	0.41	0.81	10.00	0.73	0.73	10.00	1.04	0.69
11.00	0.39	0.79	11.00	0.71	0.71	11.00	1.03	0.69
12.00	0.37	0.74	12.00	0.70	0.70	12.00	1.01	0.68
13.00	0.36	0.72	13.00	0.70	0.70	13.00	1.00	0.67
14.00	0.36	0.72	14.00	0.70	0.70	14.00	1.00	0.67
15.00	0.36	0.72	15.00	0.70	0.70	15.00	1.00	0.67

**OBSERVACIÓN** Densidad Seca = 1.590 g/cm<sup>3</sup>, Humedad = 0.47% .  
 La muestra ha sido ensayada en estado alterado, suelto y húmeda a temperatura ambiente, obtenida en campo por el consultor.

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEC 17025-2006).

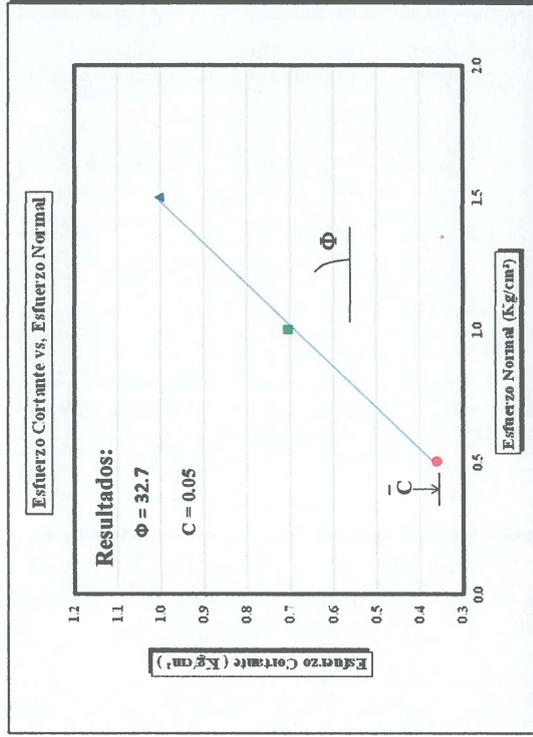
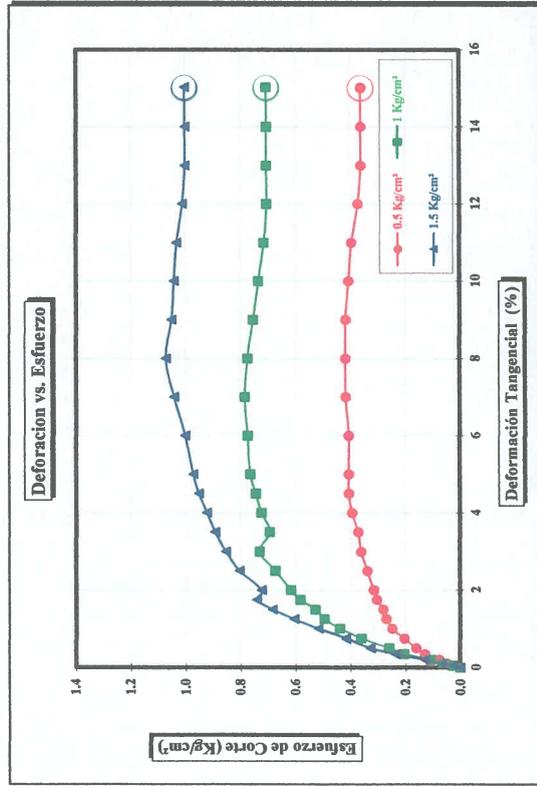
**TCINGE S.A.C.**  
 Philippe Johan Lopez Lopez  
 Técnico de Laboratorio



CARLOS ALBERTO TOPIA CORDOVA  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 67848

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**  
(ASTM - D3080)

INFORME N° : TC-029-LG-009-2015  
 SOLICITANTE : CONSORCIO SADE-COSAPI  
 DIRECCIÓN : AV. REPÚBLICA DE COLOMBIA 391 SAN ISIDRO - LIMA  
 PROYECTO : AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA  
 UBICACIÓN : PACHACUTEC DEL DISTRITO DE VENTANILLA, CDP-47  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 18/02/2015  
 FECHA DE ENSAYO : 18/02/2015  
 ESTADO : REMOLDEADO / PARCIALMENTE SATURADO  
 CALICATA : SPT-1  
 MUESTRA : M - 3  
 PROFUNDIDAD (m) : 2.35 - 2.85  
 CLASIFICACION (SUCS) : SP  
 ESTADO : REMOLDEADO / PARCIALMENTE SATURADO  
 FECHA DE EMISION : 19/02/2015



OBSERVACIÓN: Densidad Seca = 1.590 g/cm<sup>3</sup>, Humedad = 0.47%

La muestra ha sido ensayada en estado alterado, suelto y húmeda a temperatura ambiente, obtenida en campo por el consultor. El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (NTP - ISO/IEX 17025-2006).

**TCINGE S.A.C.**  
Philippe Johan Lopez Lopez  
Técnico de Laboratorio

  
**CARLOS ALBERTO TUJIA GARDONA**  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 67848









# TECNOVIAS Y SERVICIOS GENERALES S.R.L.

INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
MANTENIMIENTO DE OBRAS CIVILES

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D-3080

PROYECTO	: AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACÚTEC - ETAPA 1		
SOLICITADO	: CONSORCIO SADE COSAPI	REGISTRO N°	: 019 - 2016-T
UBICACIÓN	: CÁMARA DE BOMBEO DE DESAGÜE CDP-03 SALA DE TABLEROS	ING° RESP.	: C.ORTIZ
	: PACHACÚTEC - VENTANILLA	TÉCNICO	: G.ZAMBRANO
MUESTRA	: C-01 / M-01	PROF. (m)	: 0.00 - 3.85
		FECHA	: 19/05/2016

CONTENIDO DE HUMEDAD :		FACTOR ANILLO	: 0.275 + 0.000
N° DE RECIPIENTE	: 4	PESO MUESTRA + ANILLO (g)	: 78.66
PESO DEL RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO (gr.)	: 82.55	PESO DEL ANILLO (g)	: 29.06
PESO DEL RECIPIENTE + SUELO SECO (gr.)	: 81.09	PESO DE LA MUESTRA (g)	: 49.60
PESO DEL AGUA (gr.)	: 1.46	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	: 28.27
PESO DEL RECIPIENTE (gr.)	: 11.16	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	: 30.81
PESO DEL SUELO SECO (gr.)	: 69.93	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	: 1.610
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)	: 2.09	DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	: 1.577

ESFUERZO NORMAL : **3,2** Kg/cm<sup>2</sup>

TIEMPO (min.)	EXTENSÓMETRO DE CARGA	DEFORMACIÓN (mm)	DEFORMACIÓN NORMAL	FUERZA (Kg)	ESFUERZO DE CORTE
0.0		0.00		-	0.000
0.5	31.8	0.25	----	8.745	0.309
1.0	60.7	0.50	----	16.693	0.590
1.5	89.9	0.75	----	24.723	0.875
2.0	115.1	1.00	----	31.653	1.120
2.5	136.0	1.25	----	37.400	1.323
3.0	146.6	1.50	----	40.315	1.426
3.5	155.9	1.75	----	42.873	1.517
4.0	161.3	2.00	----	44.358	1.569
4.5	166.1	2.25	----	45.678	1.616
5.0	170.5	2.50	----	46.888	1.659
5.5	171.0	2.75	----	47.025	1.663
6.0	174.4	3.00	----	47.960	1.696
6.5	178.0	3.25	----	48.950	1.732
7.0	182.6	3.50	----	50.215	1.776
7.5	183.7	3.75	----	50.518	1.787
8.0	183.8	4.00	----	50.545	1.788

TECNOVIAS Y SERVICIOS GENERALES S.R.L.  
  
 ING. EN CIVIL  
 G. ZAMBRANO



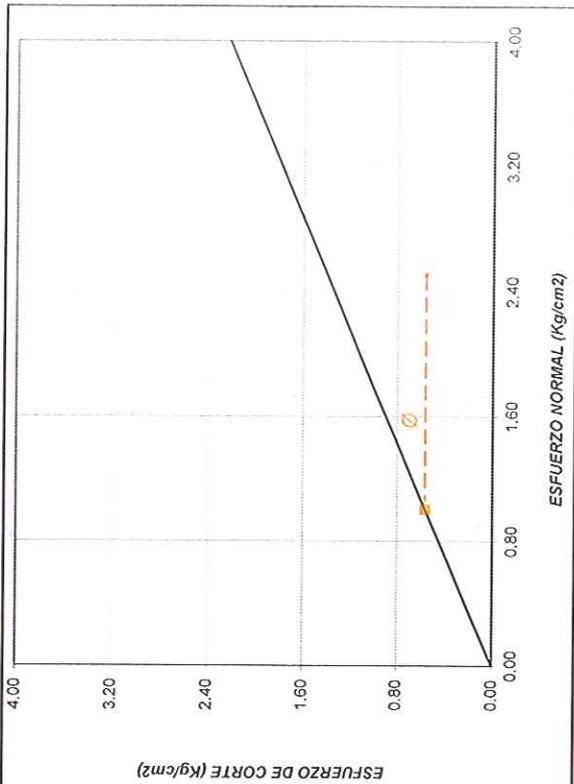
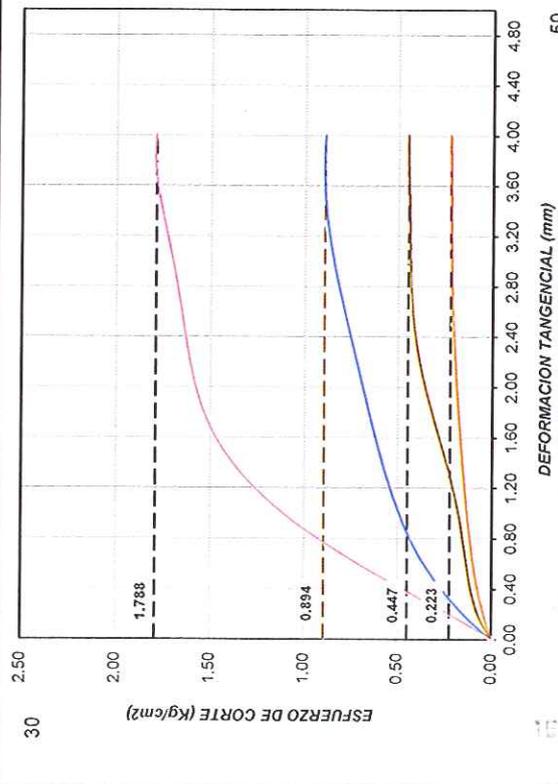
# TECNOVIAS Y SERVICIOS GENERALES S.R.L.

INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
MANTENIMIENTO DE OBRAS CIVILES

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D-3080

PROYECTO : AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACUTEC - ETAPA 1  
SOLICITADO : CONSORCIO SADE COSAPI  
UBICACION : CAMARA DE BOMBEO DE DESAGUE CDP-03 SALA DE TABLEROS PACHACUTEC - VENTANILLA  
MUESTRA : C-01 / M-01 PROF. (m) : 0.00 - 3.85 ING° RESP. : C.ORTIZ  
CONDICION : ALTERADA FECHA : mayo-2016 TECNICO : G.ZAMBRANO  
CLASIF. SUCS : SP LL.: N.P. I.P.: N.P. % MENOR QUE MALLA N° 200 : 4.6 %

CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES					
MUESTRA N°	AREA (cm2)	CONT. HUM. (%)	DENS. SECA (gr/cm3)	ESFUERZOS TANGENCIAL	ESFUERZOS NORMAL
01	28.27	2.20	1.578	0.223	0.4
02	28.27	2.14	1.581	0.447	0.8
03	28.27	2.24	1.574	0.894	1.6
04	28.27	2.09	1.577	1.788	3.2



OBSERVACIONES : MUESTRA REMOLDEADA TAMIZADA POR LA MALLA N° 4 (4.76mm).

RESULTADOS DE ENSAYOS		
COHESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.00	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)
		29.19



# TECNOVIAS Y SERVICIOS GENERALES S.R.L.

INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
MANTENIMIENTO DE OBRAS CIVILES

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D-3080

PROYECTO	: AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL MACRO PROYECTO PACHACÚTEC - ETAPA 1		
SOLICITADO	: CONSORCIO SADE COSAPI	REGISTRO N°	: 019 - 2016 - T
UBICACIÓN	: CÁMARA DE BOMBEO DE DESAGÜE CDP-03 SALA DE TABLEROS	ING° RESP.	: C.ORTIZ
	: PACHACUTEK - VENTANILLA	TÉCNICO	: G.ZAMBRANO
MUESTRA	: C-01 / M-01	PROF. (m)	: 0.00 - 3.85
		FECHA	: 19/05/2016

CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: ALTERADA
ÁREA DE LOS ESPECÍMENES	: 28.27 cm <sup>2</sup>
VOLUMEN DE LOS ESPECÍMENES	: 30.81 cm <sup>3</sup>

CLASIFICACIÓN SUCS	: SP
LÍMITE LÍQUIDO	: N.P.
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	: N.P.
% MENOR QUE LA MALLA N° 200	: 4.6 %

N° DE MUESTRA	:	<b>01</b>
CONTENIDO DE HUMEDAD	% :	<b>2.2</b>
DENSIDAD HÚMEDA	g/cm <sup>3</sup> :	<b>1.612</b>
DENSIDAD SECA	g/cm <sup>3</sup> :	<b>1.578</b>
ESFUERZO NORMAL	kg/cm <sup>2</sup> :	<b>0.4</b>

	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.25	0.05
	0.50	0.09
	0.75	0.11
	1.00	0.14
	1.25	0.15
	1.50	0.15
	1.75	0.17
	2.00	0.19
	2.25	0.20
	2.50	0.21
	2.75	0.21
	3.00	0.21
	3.25	0.22
	3.50	0.22
	3.75	0.22
	4.00	0.22

	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.25	0.08
	0.50	0.12
	0.75	0.15
	1.00	0.18
	1.25	0.22
	1.50	0.26
	1.75	0.31
	2.00	0.35
	2.25	0.39
	2.50	0.42
	2.75	0.42
	3.00	0.43
	3.25	0.44
	3.50	0.44
	3.75	0.45
	4.00	0.45

	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.25	0.20
	0.50	0.31
	0.75	0.42
	1.00	0.49
	1.25	0.54
	1.50	0.62
	1.75	0.65
	2.00	0.68
	2.25	0.71
	2.50	0.76
	2.75	0.81
	3.00	0.86
	3.25	0.87
	3.50	0.89
	3.75	0.89
	4.00	0.89

	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (mm)	ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )
	0.25	0.31
	0.50	0.59
	0.75	0.87
	1.00	1.12
	1.25	1.32
	1.50	1.43
	1.75	1.52
	2.00	1.57
	2.25	1.62
	2.50	1.66
	2.75	1.66
	3.00	1.70
	3.25	1.73
	3.50	1.78
	3.75	1.79
	4.00	1.79

Ángulo de Fricción

$\phi = 29.19^\circ$

Cohesión

$C = 0.00 \text{ kg/cm}^2$

TECNOVIAS Y SERVICIOS GENERALES S.R.L.  
Ing. G. ZAMBRANO  
19/05/2016

\* | 99 kW / 132 cV a 2.000 r.p.m.

▲ | 13.750 - 16.720 kg

🏗️ | 0,24 - 0,64 m<sup>3</sup>



## DX140w | Excavadoras de ruedas



# Especificaciones técnicas

DX 140w

## \* Motor

### • Model

Doosan DLo6  
Motor "Common Rail" de inyección directa y control electrónico del combustible, con 4 válvulas por cilindro, inyectores verticales, refrigeración por agua, turbo-compresor y refrigeración forzada aire-aire. Los niveles de emisión están muy por debajo de los valores requeridos para la Etapa III.

### • Nº de cilindros

6

### • Potencia nominal al volante

99 kW (134 Ps) a 2.000 r.p.m. (DIN 6271, neta)  
99 kW (132 cv) a 2.000 r.p.m. (SAE J1349, neta)

### • Par máximo

53 kgf.m (520 Nm) at 1.400 rpm

### • Cilindrada

5.890 cc

### • Calibre y carrera

100 mm x 125 mm

### • Motor de arranque

24 V / 4,5 kW

### • Baterías

2 x 12 V / 100 Ah

### • Filtro de aire

Doble elemento y prefiltro Turbo, con auto-evacuación del polvo.

## \* Sistema hidráulico

El corazón del sistema es el e-EPOS (Sistema Electrónico de Optimización de la Potencia), que permite optimizar la eficacia del sistema en cualquier condición de trabajo al tiempo que minimiza el consumo de combustible.

El nuevo e-EPOS está conectado al control electrónico del motor a través de un enlace para transferencia de datos con el fin de armonizar el funcionamiento del motor y el control hidráulico.

El sistema hidráulico posibilita operaciones independientes o combinadas.

- Las dos velocidades de impulsión garantizan el poder trabajar con un par de fuerzas mayor o con una velocidad de movimiento más elevada.
- El sistema de bombeo cruzado reduce el consumo de combustible.
- Sistema automático de deceleración.
- Dos modos operativos y dos modos de fuerza.
- Control del flujo mediante botones en los circuitos del equipamiento auxiliar.
- Control de bombeo en el motor asistido por ordenador.

### • Bombas principales

2 bombas de pistón axial y con cilindrada variable  
Máx. flujo: 2 x 156,1 l/min

### • Bomba piloto

Bomba rotativa de engranajes – máx. flujo: 18,5 l/min

### • Principales válvulas de seguridad

Pluma / Brazo / Cazo:  
- Modo normal: 330 kg/cm<sup>2</sup> (324 bar)  
- Modo de fuerza: 350 kg/cm<sup>2</sup> (343 bar)  
Desplazamiento: 370 kg/cm<sup>2</sup> (363 bar)  
Rotación: 245 kg/cm<sup>2</sup> (240 bar)

## \* Peso

Pluma (mm)	Brazo (mm)	Cazo (m <sup>3</sup> )	Peso operativo (kg)
4.300	2.100	0,59	14.010
4.600	2.100	0,59	14.070
4.600	2.500	0,59	14.120
4.988 ARTI	2.500	0,59	14.570

## \* Cilindros hidráulicos

Las bielas y los cuerpos de los cilindros están hechos en acero de alta resistencia. Todos los cilindros están dotados de un mecanismo de absorción de impactos para asegurar un funcionamiento libre de sacudidas y ampliar la vida útil del pistón.

### • Pluma Mono

Cilindros	Cantidad	Calibre x Diámetro del vástago x Carrera
Pluma	2	110 x 75 x 1.048 mm
Brazo (corto)	1	115 x 80 x 1.075 mm
Cazo	1	95 x 65 x 900 mm

### • Pluma articulada

Cilindros	Cantidad	Calibre x Diámetro del vástago x Carrera
Pluma	2	110 x 75 x 935 mm
Arti. pluma	1	150 x 90 x 675 mm
Brazo (largo)	1	115 x 80 x 1.068 mm
Cazo	1	95 x 65 x 900 mm

## \* Chasis

Bastidor de servicio pesado, estructura de alivio de tensiones totalmente soldada. Se han empleado materiales de máxima calidad para lograr una mayor robustez. Pernos de conexión con tratamiento térmico especial. Neumáticos en tandem 10.00-20-14PR (OTR) con espaciador. Eje delantero hidráulico y oscilante.

## \* Medio ambiente

Los niveles de ruido cumplen con los reglamentos medioambientales (valores dinámicos).

### • Nivel sonoro garantizado

101 dB(A) (2000/14/EC)

### • Nivel sonoro en cabina

74 dB(A) (ISO 6396)

## \* Mecanismo de giro

- Para la rotación se ha empleado un motor de pistón axial de dos etapas con engranaje reductor planetario.
- El aumento del par de fuerzas reduce el período de rotación.
- Engranaje interno templado por inducción.
- Rueda dentada interior y piñón sumergidos en lubricante.
- El freno de rotación para el estacionamiento se activa mediante resorte y se libera hidráulicamente.

Velocidad de rotación: 0 to 11,3 r.p.m.

## \* Cazos

Capacidad (m³)	Anchura (mm)		Peso (Kg)	Recomendado (mm)				
	Sin cortadoras laterales	Con cortadoras laterales		4.300 2.100	4.600 2.100	2.500	4.988 2.100	2.500
0,24	468	534	294	A	A	A	A	A
0,39	736	820	362	A	A	A	A	A
0,45	824	911	402	A	A	A	A	A
0,51	907	991	418	A	A	B	A	B
(std) 0,59	997	1.081	439	A	B	B	B	-
0,64	1.083	1.167	465	C	C	-	C	-
0,76	1.120	1.220	519	C	-	-	-	-
0,42 (HD)	762	827	442	B	C	C	C	-
0,49 (HD)	848	913	477	C	C	-	C	-
0,54 (HD)	916	981	497	C	-	-	-	-

A. Adecuado para materiales con densidad menor o igual a 2.000 kg/m³

B. Adecuado para materiales con densidad menor o igual a 1.600 kg/m³

C. Adecuado para materiales con densidad menor o igual a 1.100 kg/m³

## \* Transmisión

Las ruedas están accionadas por un motor de émbolo axial que transmite la energía a una transmisión de dos velocidades. Además de estas dos velocidades, también dispone de una posición lenta en carga. El paso de velocidad alta a velocidad baja en modo de trabajo se lleva a cabo simplemente presionando un botón.

### • Velocidad de desplazamiento (rápida/lenta)

Las dos velocidades de impulsión garantizan el trabajo con un par de fuerzas mayor o con una velocidad de movimiento más elevada.

37/32/10/3,5 km/h  
(Alta/Econo/Baja/Lenta)

### • Tracción máxima

7.700 kgf

## \* Capacidades de relleno

### • Tanque de carburante

280 l

### • Sistema de refrigeración (capacidad del radiador)

20 l

### • Aceite del motor

22 l

### • Tracción de rotación

2 l

### • Tracción final

9,8 l

### • Tanque hidráulico

102 l

### • Depósito del eje delantero

9 l

### • Depósito del eje trasero

11,2 l

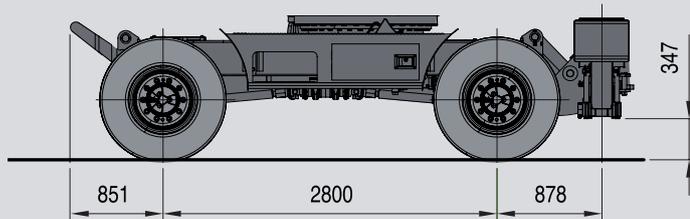
### • Transmisión

2,5 l

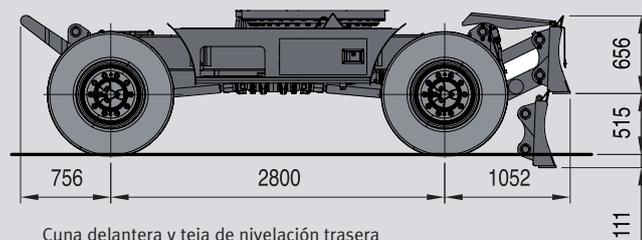
# Chasis

DX 140w

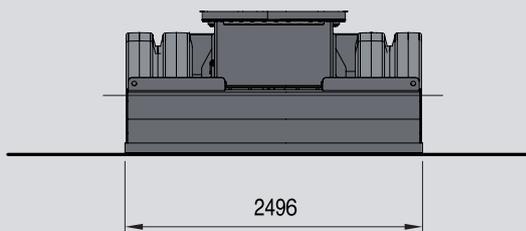
## \* Chasis con cuna delantera y estabilizador trasero / cuna delantera y teja de nivelación trasera



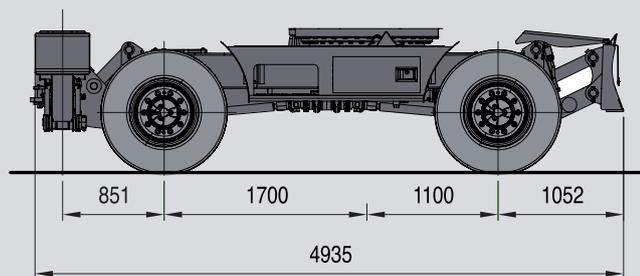
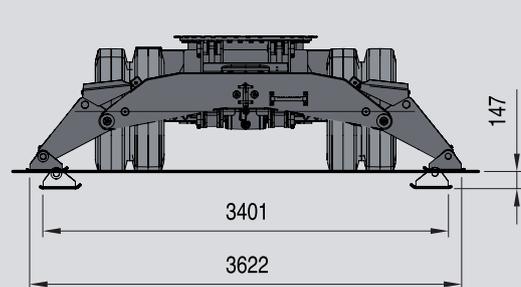
Cuna delantera y estabilizador trasero



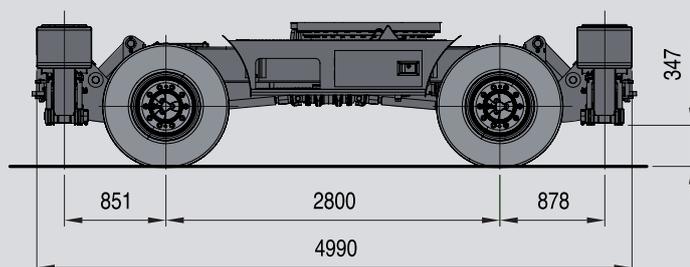
Cuna delantera y teja de nivelación trasera



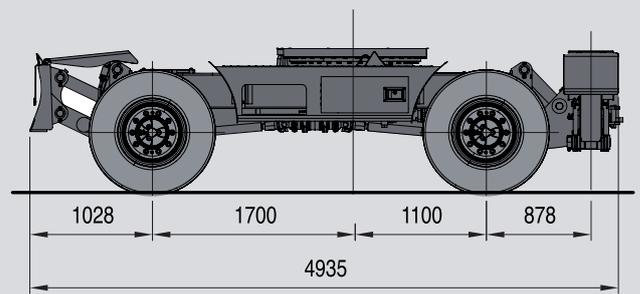
## \* Chasis con estabilizador delantero y teja de nivelación trasera



## \* Chasis con estabilizador delantero y estabilizador trasero / teja de nivelación delantera y estabilizador trasero



Estabilizador delantero y estabilizador trasero



Teja de nivelación delantera y estabilizador trasero

# Equipamiento de serie y opcional

## \* Equipamiento de serie

### • Sistema hidráulico

- Circuito de regeneración del sistema de brazo y pluma
- Válvulas de seguridad de brazo y pluma
- Válvulas anti-rebote en giro
- Salida hidráulica extra (válvula de la línea de opción)
- Botón para accionar potencia adicional instantánea
- Línea hidráulica de martillo

### • Cabina e interior

- Cabina montada sobre soportes de tipo viscoso
- Cabina antirruido para todo tipo de clima
- Climatizador
- Asiento con suspensión ajustable, reposa-cabezas y reposa-brazos ajustables
- Ventana frontal con parte deslizante y parte extraíble
- Luz interior
- Limpiaparabrisas tipo intermitente
- Mechero y cenicero
- Posavasos
- Compartimento térmico caliente / frío
- Monitor LCD color
- Indicador de combustible
- Altavoces y conexiones para radio
- Control remoto de radio en consola
- Toma de corriente de 12 V
- Conexión para PC portátil
- Palanca de control hidráulico con 3 conmutadores
- Parasol
- Techo solar
- Visera protectora de lluvia

## \* Accesorios opcionales

En algunos mercados, parte de estos accesorios pueden formar parte del equipamiento de serie. En otros mercados pueden no estar disponibles. Compruebe en su concesionario DOOSAN la disponibilidad de los accesorios o su adaptación en función de las aplicaciones que se deseen.

### • Seguridad

- Protección superior/delantera de la cabina (normas ISO 10262; FOGS)
- Faro giratorio
- Espejo sobre contrapeso
- Alarma en giro

### • Cabina e interior

- Asiento con suspensión neumática
- Radio CD
- Radio CD MP3

### • Chasis

- Soporte frontal para bivalva
- Cuchilla frontal de nivelación
- Estabilizadores delanteros/traseros independientes
- PB rueda simple 18-19,5 16PR

### • Seguridad

- Pasamanos y plataforma de apoyo largos
- Placas metálicas perforadas antideslizantes
- Cinturón de seguridad
- Palanca de bloqueo hidráulico de seguridad
- Ventanas con cristal de seguridad
- Martillo para la salida de emergencia
- Retrovisores
- Alarma de traslación en reversa
- Parada de emergencia del motor (Interruptor)
- Luz de calle con luz de parada tipo LED
- Dispositivo de aviso de sobrecarga

### • Chasis

- Rueda doble 10-20 14PR
- Cuchilla trasera de nivelación
- Compartimento para las herramientas
- 4 velocidades (Alta/Econo/Baja/Lenta)
- Bloqueo de oscilación de eje delantero
- Soporte frontal para cuchara
- Control de cruceo

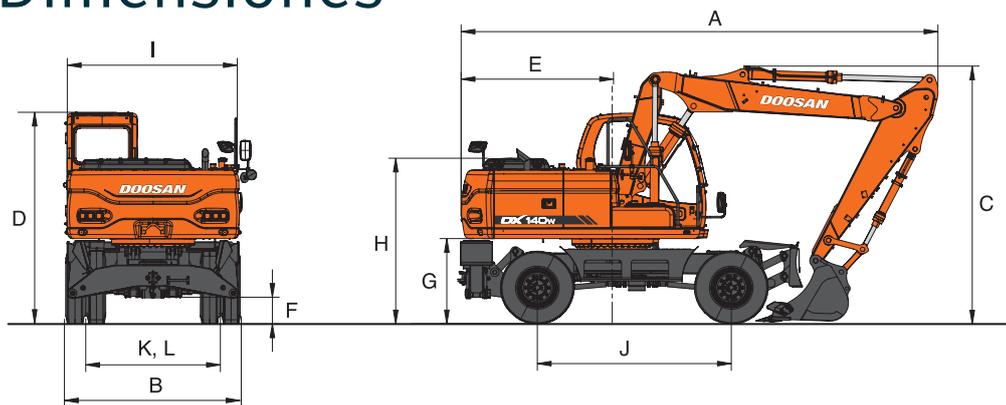
### • Otros

- Filtro aire de 2 etapas con un elemento de seguridad
- Filtro antipolvo para el refrigerador
- Sistema de prevención contra sobrecalentamiento del motor
- Sistema de prevención contra reinicio del motor
- Sistema de autodiagnóstico
- Alternador 24V, 50A
- Claxon
- Faros de trabajo halógenos (2 montados en el bastidor, 2 montados en la pluma)
- Doble filtro de combustible
- Bomba de relleno del tanque de carburante

### • Otros

- Línea hidráulica para pinza
- Línea hidráulica para acoplamiento rápido
- Línea hidráulica para bivalva
- Línea hidráulica para inclinación y rotación
- Filtro adicional para tubería de martillo
- Limpiaparabrisas más bajo
- Calefactor de combustible
- Pack de Luces (4 frontales & 2 traseras, rotativo telescópico y alternador de 80 Ah)
- Sistema de video con LCD color y cámara "o lux"
- Protector superior para cristal frontal
- Protector inferior para cristal frontal
- Sistema de engrase centralizado

# Dimensiones



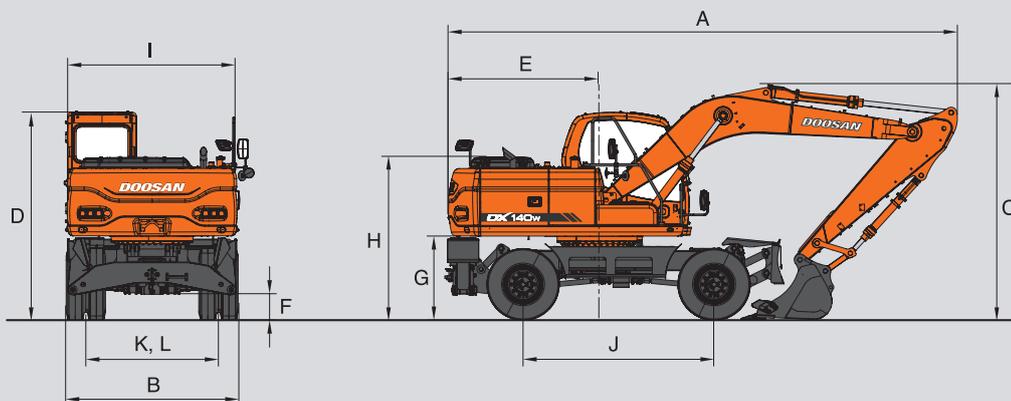
**DX140W**

Pluma articulada – Pluma: 4.988 mm - Brazo: 2.100/2.500 mm

## \* Dimensiones

Tipo de pluma (dos piezas)	4.988 mm	
Tipo de brazo	2.100 mm	2.500 mm
A Longitud de estiba	7.030 mm	6.885 mm
B Ancho de estiba	2.496 mm	2.496 mm
C Altura de estiba (pluma)	3.650 mm	3.730 mm
D Altura sobre la cabina	3.040 mm	3.040 mm
E Radio de giro del contrapeso	2.200 mm	2.200 mm
F Altura libre al suelo	350 mm	350 mm
G Altura libre al contrapeso	1.206 mm	1.206 mm
H Altura a la tapa del motor	2.376 mm	2.376 mm
I Ancho superior del carrozado	2.494 mm	2.494 mm
J Batalla	2.800 mm	2.800 mm
K, L Vía	1.944 mm	1.944 mm

Pluma mono – Pluma: 4.300/4.600 mm - Brazo: 2.100/2.500 mm

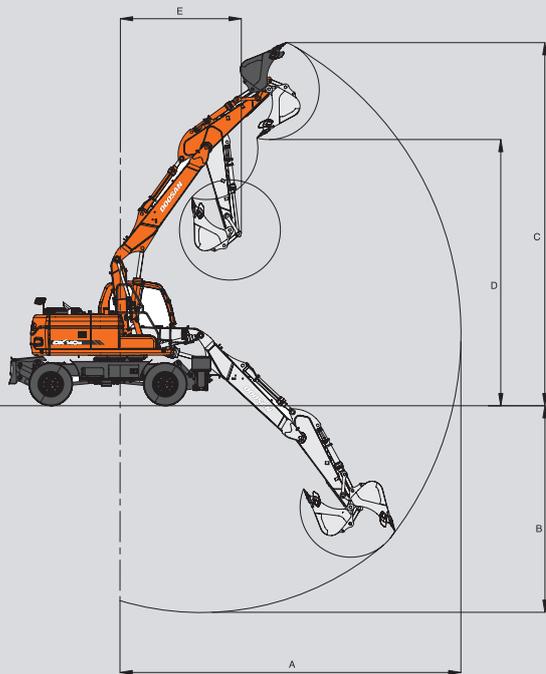


## \* Dimensiones

Tipo de pluma (una pieza)	4.300 mm	4.600 mm	
Tipo de brazo	2.100 mm	2.100 mm	2.500 mm
A Longitud de estiba	7.235 mm	7.820 mm	7.470 mm
B Ancho de estiba	2.496 mm	2.496 mm	2.496 mm
C Altura de estiba (pluma)	3.351 mm	3.225 mm	3.460 mm
D Altura sobre la cabina	3.040 mm	3.040 mm	3.040 mm
E Radio de giro del contrapeso	2.200 mm	2.200 mm	2.200 mm
F Altura libre al suelo	350 mm	350 mm	350 mm
G Altura libre al contrapeso	1.206 mm	1.206 mm	1.206 mm
H Altura a la tapa del motor	2.376 mm	2.376 mm	2.376 mm
I Ancho superior del carrozado	2.494 mm	2.494 mm	2.494 mm
J Batalla	2.800 mm	2.800 mm	2.800 mm
K, L Vía	1.944 mm	1.944 mm	1.944 mm

# Radio de acción

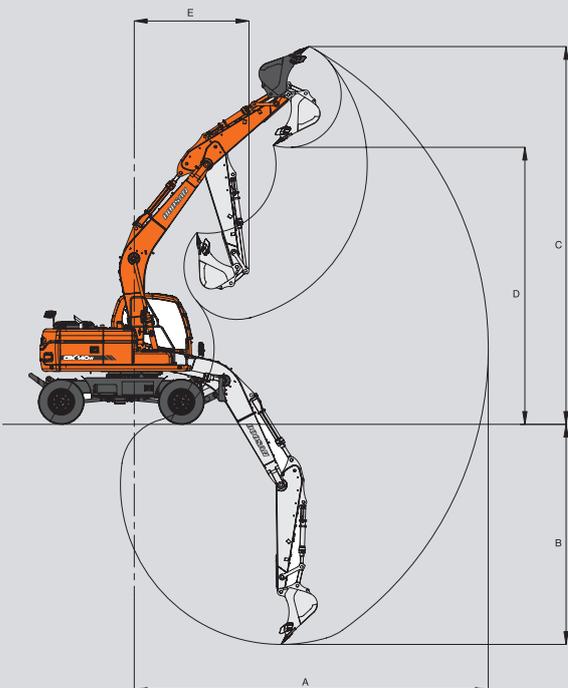
Pluma articulada – Pluma: 4.988 mm, teja de nivelación delantera y estabilizador trasero



## \* Radio de acción

Tipo de pluma (dos piezas)	4.988 mm	
Tipo de brazo	2.100 mm	2.500 mm
A. Radio máx. de excavación mm	8.330	8.750
B. Profundidad máx. de excavación mm	5.120	5.530
C. Altura máx. de excavación mm	9.110	9.520
D. Altura máx. de carga mm	6.700	7.100
E. Radio mín. de carga mm	2.840	2.860

Pluma mono – Pluma: 4.300, cuna delantera y teja de nivelación trasera / Pluma: 4.600, teja de nivelación delantera y estabilizador trasero



## \* Radio de acción

Tipo de pluma (una pieza)	4.300 mm	4.600 mm	
Tipo de brazo	2.100 mm	2.100 mm	2.500 mm
A. Radio máx. de excavación mm	7.520	7.790	8.250
B. Profundidad máx. de excavación mm	4.580	4.790	5.190
C. Altura máx. de excavación mm	8.130	8.370	8.850
D. Altura máx. de carga mm	5.810	6.060	6.480
E. Radio mín. de carga mm	2.470	2.570	2.670

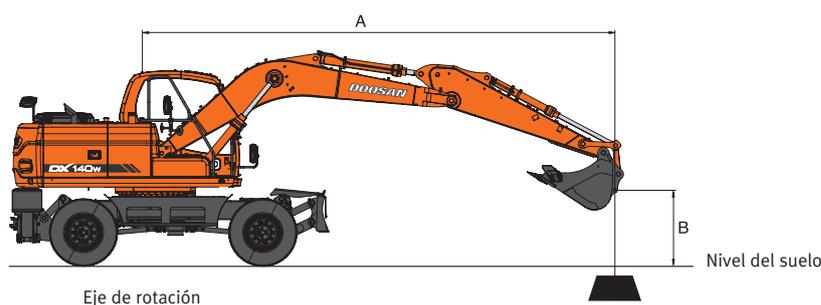
## \* Fuerzas de excavación (ISO)

Cazo (PCSA)	0,51 m³ (std)
Fuerza de excavación*	10.140 kgf 99,5 kN

Brazo	2.100 mm	2.500 mm
Fuerza de excavación*	7,650 kgf 75 kN	6,550 kgf 64,2 kN

\* Fuerza máx.

# Capacidad de elevación



DX140W

## Configuración de serie – Pluma mono

Cuna delantera y teja de nivelación trasera bajado — Pluma: 4.300 mm - Brazo: 2.100 mm - Sin cazo - Contrapeso: 2.200 kg

Unidades: 1.000 kg

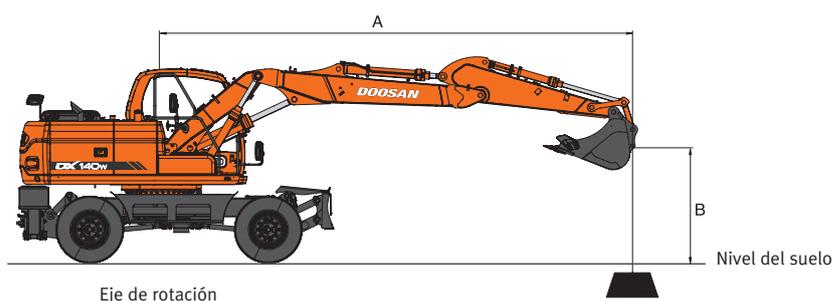
A (m) \ B (m)	3		4		5		6		Radio de acción máximo		
											A (m)
6			*4,43	*4,43					*2,97	*2,97	4,59
5			*5,26	*5,26	4,18	3,97			*2,87	*2,87	5,36
4	*7,12	*7,12	*6,10	5,55	*5,51	*3,94			*2,87	*2,87	5,86
3	*9,01	*8,69	*6,96	5,43	*5,85	*3,88	*3,91	*2,97	*2,96	*2,86	6,15
2			*7,82	5,30	*5,78	3,82	*4,36	2,95	*3,13	*2,76	6,28
1	*9,08	*8,21	*8,28	5,20	*5,71	3,76	*4,33	2,92	*3,40	*2,77	6,24
o (Suelo)	*10,23	*8,16	*8,21	5,14	*5,67	3,73	*4,13	*2,90	*3,84	*2,89	6,03
-1	*10,36	*8,16	*8,00	5,13	*5,66	3,72			*4,57	*3,17	5,63
-2	*8,87	*8,21	*6,93	5,16	*5,12	*3,75			*5,11	*3,75	5,01
-3	*6,38	*6,38	*4,63	*4,63					*4,54	*4,54	4,04

Teja de nivelación delantera y estabilizador trasero bajado — Pluma: 4.600 mm - Brazo: 2.100 mm - Sin cazo - Contrapeso: 2.200 kg Unidades: 1.000 kg

A (m) \ B (m)	3		4		5		6		Radio de acción máximo		
											A (m)
6			*4,86	*4,86	*3,10	*3,10			*2,98	*2,98	5,02
5			*5,48	*5,48	*4,93	*4,93			*2,90	*2,90	5,74
4	*7,45	*7,45	*6,14	*6,14	*5,42	*5,42	*3,97	*3,97	*2,90	*2,90	6,20
3			*7,03	*7,03	*5,86	*5,86	*5,18	4,58	*2,99	*2,99	6,49
2			*7,86	*7,86	*6,30	6,00	*5,37	4,54	*3,14	*3,14	6,60
1			*8,33	*8,33	*6,58	5,93	*5,47	4,50	*3,39	*3,39	6,56
o (Suelo)	*7,26	*7,26	*8,34	*8,34	*6,61	5,89	*5,38	*4,48	*3,77	*3,77	6,36
-1	*10,06	*10,06	*7,90	*7,90	*6,28	5,88			*4,40	*4,40	5,99
-2	*8,71	*8,71	*6,96	*6,96	*5,43	*5,43			*4,74	*4,74	5,41
-3	*6,62	*6,62	*5,21	*5,21					*4,28	*4,28	4,53

Teja de nivelación delantera y estabilizador trasero bajado — Pluma: 4.600 mm - Brazo: 2.500 mm - Sin cazo - Contrapeso: 2.200 kg Unidades: 1.000 kg

A (m) \ B (m)	3		4		5		6		Radio de acción máximo		
											A (m)
6					*3,56	*3,56			*2,10	*2,10	5,62
5			*4,27	*4,27	*4,19	*4,19	*3,02	*3,02	*2,02	*2,02	6,26
4			*5,25	*5,25	*4,93	*4,93	*4,05	*4,05	*2,01	*2,01	6,69
3	*8,55	*8,55	*6,59	*6,59	*5,57	*5,57	*4,92	4,58	*2,04	*2,04	6,95
2			*7,52	*7,52	*6,08	6,01	*5,22	4,53	*2,11	*2,11	7,06
1			*8,15	*8,15	*6,45	5,93	*5,40	4,49	*2,23	*2,23	7,02
o (Suelo)	*6,95	*6,95	*8,35	*8,35	*6,60	5,87	*5,42	4,45	*2,42	*2,42	6,84
-1	*9,04	*9,04	*8,09	*8,09	*6,42	5,84	*5,17	4,44	*2,71	*2,71	6,50
-2	*9,41	*9,41	*7,37	*7,37	*5,83	*5,83			*3,19	*3,19	5,96
-1	*7,62	*7,62	*6,01	*6,01	*4,43	*4,43			*4,03	*4,03	5,18



## Configuración de serie – Pluma articulada

Cuna delantera y teja de nivelación trasera bajado — Pluma: 4.998 mm - Brazo: 2.100 mm - Sin cazo - Contrapeso: 2.200 kg

Unidades: 1.000 kg

A (m) \ B (m)	3		4		5		6		Radio de acción máximo			
											A (m)	
8	*4,52	*4,52								*3,10	*3,10	3,34
7	*4,21	*4,21	*4,31	*4,31						*2,52	*2,52	4,80
6	*4,33	*4,33	*4,24	*4,24	*4,22	*4,22				*2,30	*2,30	5,72
5	*5,18	*5,18	*4,66	*4,66	*4,36	*4,36	*4,22	*4,22	*2,20	*2,20	*2,20	6,35
4			*5,44	*5,44	*4,75	*4,75	*4,39	*4,39	*2,16	*2,16	*2,16	6,78
3			*6,45	*6,45	*5,28	*5,28	*4,66	4,58	*2,16	*2,16	*2,16	7,04
2					*5,82	*5,82	*4,96	4,52	*2,21	*2,21	*2,21	7,14
1					*6,23	5,89	*5,20	4,47	*2,30	*2,30	*2,30	7,11
o (Suelo)			*8,17	*8,17	*6,44	5,84	*5,32	4,44	*2,44	*2,44	*2,44	6,92
-1			*8,02	*8,02	*6,40	5,82	*5,24	4,43	*2,67	*2,67	*2,67	6,58

Teja de nivelación delantera y estabilizador trasero bajado — Pluma: 4.988 mm - Brazo: 2.500 mm - Sin cazo - Contrapeso: 2.200 kg Unidades: 1.000 kg

A (m) \ B (m)	3		4		5		6		Radio de acción máximo			
											A (m)	
7	*3,54	*3,54	*3,76	*3,76	*3,42	*3,42			*1,37	*1,37	5,45	
6	*3,61	*3,61	*3,77	*3,77	*3,82	*3,82	*3,00	*3,00	*1,25	*1,25	*1,25	6,28
5	*3,81	*3,81	*4,20	*4,20	*4,01	*4,01	*3,93	*3,93	*1,18	*1,18	*1,18	6,86
4			*4,97	*4,97	*4,43	*4,43	*4,12	*4,12	*1,15	*1,15	*1,15	7,25
3			5,98	*5,98	*4,98	*4,98	*4,43	*4,43	*1,13	*1,13	*1,13	7,49
2					*5,56	*5,56	*4,77	4,52	*1,14	*1,14	*1,14	7,59
1			*7,73	*7,73	*6,04	5,89	*5,06	4,46	*1,16	*1,16	*1,16	7,56
o (Suelo)			*8,08	*8,08	*6,34	5,82 *	5,25	4,42	*1,20	*1,20	*1,20	7,39
-1	*6,00	*6,00	*8,08	*8,08	*6,41	5,78	*5,27	4,40	*1,31	*1,31	*1,31	7,07
-2			*7,75	*7,75	*6,19	5,79	*5,00	4,41	*4,86	4,29	*4,86	6,12

1. La fuerzas nominales se basan en la Norma SAE J1097.

2. El punto de carga es el gancho de la parte posterior de la cuchara.

3. \* = Cargas nominales basadas en la capacidad hidráulica.

4. Cargas nominales no superiores al 87% de la capacidad hidráulica o al 75% de la capacidad de basculación.

: Fuerza nominal

: Fuerza nominal en el lateral o a 360°

# Retroexcavadoras Cargadoras 420F/420F IT



## Motor

Modelo del motor	Cat® C4.4 ACERT™	
Potencia neta nominal: SAE J1349	69 kW	93 hp
Potencia neta nominal: ISO 9249	70 kW	94 hp

## Pesos

Peso en orden de trabajo: nominal	6.983 kg	15.395 lb
Peso en orden de trabajo: máximo	11.000 kg	24.251 lb

## Retroexcavadora

Profundidad de excavación: estándar	4.360 mm	14' 4"
Profundidad de excavación: brazo extensible extendido	5.441 mm	17' 11"

# Facilidad de servicio

La facilidad de mantenimiento ayuda a hacer funcionar la máquina.



## Reduzca al mínimo el tiempo de inactividad

Las características de comodidad para la prestación del servicio facilitan el mantenimiento y reducen el tiempo de inactividad:

- El paquete de enfriamiento abisagrado facilita el acceso
- El capó inclinable ofrece un acceso simple y conveniente a todos los puntos de verificación del motor
- Los paneles laterales del motor se quitan con facilidad y sin la necesidad de usar herramientas
- El sistema Product Link™ de Cat (optativo) posibilita la generación de informes remotos sobre la ubicación de la máquina y de los parámetros del sistema de operación

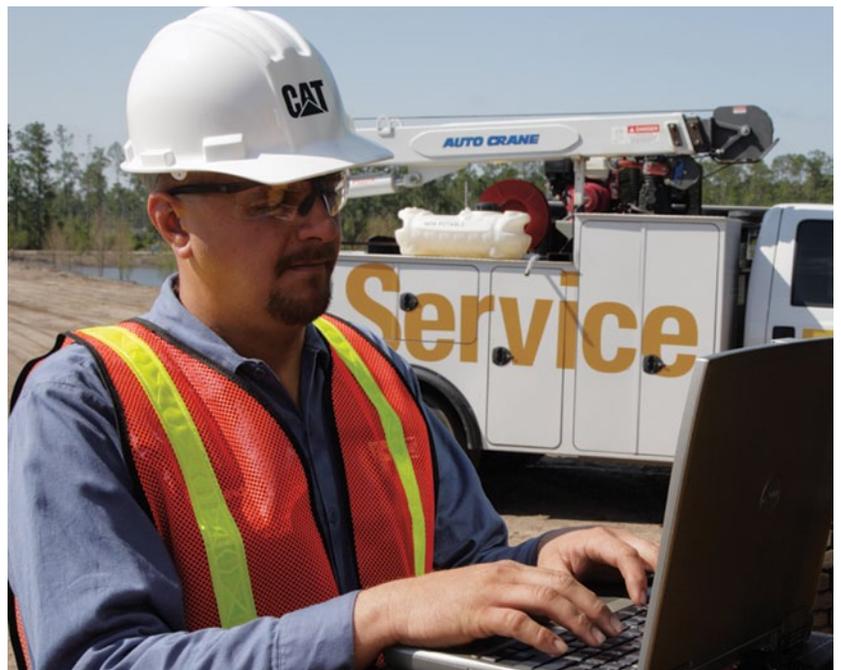
# Respaldo al cliente

Un respaldo sin igual hace la diferencia.

## Respaldo de distribuidores reconocidos

Desde ayudarlo a elegir la máquina correcta hasta el respaldo constante y experimentado, los distribuidores Cat proporcionan lo mejor en ventas y servicio.

- Programas de mantenimiento preventivo y contratos de mantenimiento garantizados
- Disponibilidad de las mejores piezas en su clase.
- Capacitación de los operadores para multiplicar sus ganancias
- Piezas remanufacturadas Cat originales



# Especificaciones del modelo 420F/420F IT

## Motor

Modelo del motor	Cat C4.4 ACERT	
Potencia bruta		
SAE J1995	76 kW	102 hp
ISO 14396	74 kW	100 hp
Potencia neta nominal a 2.200 rpm		
SAE J1349	69 kW	93 hp
ISO 9249/EEC 80/1269	70 kW	94 hp
Potencia máxima neta a 1.800 rpm		
SAE J1349	71 kW	95 hp
ISO 9249	72 kW	97 hp
EEC 80/1269	72 kW	97 hp
Calibre	105 mm	4,13"
Carrera	127 mm	5"
Cilindrada	4,4 L	268 pulg <sup>3</sup>
Reserva de par neta a 1.400 rpm: SAE J1349	46 %	
Par máximo neto a 1.400 rpm	438 N·m	323 lb-pie

- El motor cumple con los estándares de emisiones Tier 4 Interim de la EPA de EE.UU./Stage IIIB de la Unión Europea.

## Transmisión

Transmisión servomecánica estándar		
1ª de avance	6 km/h	3,7 mph
2ª de avance	9,6 km/h	5,9 mph
3ª de avance	20 km/h	12 mph
4ª de avance	40 km/h	25 mph
1ª de retroceso	6 km/h	3,7 mph
2ª de retroceso	9,6 km/h	5,9 mph
3ª de retroceso	20 km/h	12 mph
4ª de retroceso	40 km/h	25 mph
Transmisión automática optativa		
1ª de avance	5,9 km/h	3,7 mph
2ª de avance	9,5 km/h	5,9 mph
3ª de avance	20 km/h	12 mph
4ª de avance	27 km/h	17 mph
5ª de avance	41 km/h	25 mph
1ª de retroceso	5,9 km/h	3,7 mph
2ª de retroceso	13 km/h	7,8 mph
3ª de retroceso	27 km/h	17 mph

## Pesos\*

Peso en orden de trabajo: nominal	6.983 kg	15.395 lb
Peso en orden de trabajo: máximo	11.000 kg	24.251 lb
Cabina ROPS/FOPS	184 kg	406 lb
Transmisión automática	216 kg	476 lb
Control de amortiguación	14 kg	31 lb
Aire acondicionado	26 kg	57 lb
Tracción en las cuatro ruedas	183 kg	397 lb
Cucharón de uso múltiple (1,0 m <sup>3</sup> /1,3 yd <sup>3</sup> ) (sin horquillas ni dientes)	745 kg	1.642 lb
Cargador con portaherramientas integral y acoplador rápido	197 kg	434 lb
Brazo extensible	305 kg	672 lb
Contrapesos (Opción 1)	115 kg	255 lb
Contrapesos (Opción 2)	240 kg	530 lb
Contrapesos (Opción 3)	460 kg	1.015 lb

- \* Las especificaciones que se muestran corresponden a la máquina equipada con cucharón cargador de uso general de 0,96 m<sup>3</sup> (1,25 yd<sup>3</sup>), cucharón retroexcavador de servicio pesado de 610 mm (24"), contrapeso de 115 kg (255 lb), operador de 80 kg (176 lb) y tanque de combustible lleno.

## Dirección

Tipo	Rueda delantera	
Servodirección	Hidrostática	
Calibre	105 mm	4,13"
Carrera	127 mm	5,0"
Diámetro de la varilla	36 mm	1,4"
Oscilación del eje	11°	
Radio de giro: tracción en 2 ruedas/tracción en 4 ruedas (rueda interior sin freno)		
Ruedas exteriores delanteras	8,18 m	26' 10"
Cucharón cargador exterior más ancho	10,97 m	36' 0"

## Clasificaciones de los ejes

Eje delantero con tracción en 2 ruedas		
Estático	22.964 kg	50.582 lb
Dinámico	9.186 kg	20.233 lb
Eje delantero con tracción en 4 ruedas		
Estático	22.964 kg	50.582 lb
Dinámico	9.186 kg	20.233 lb
Eje trasero		
Estático	22.964 kg	50.582 lb
Dinámico	9.186 kg	20.233 lb
Oscilación del eje	10 grados	

- Los ejes de tracción en las cuatro ruedas y de tracción en dos ruedas están montados en péndulo y sellados y lubricados permanentemente por lo que no requieren mantenimiento diario. Posee también un cilindro de dirección de doble acción con un ángulo de dirección de 52° que mejora la maniobrabilidad.

# Especificaciones del modelo 420F/420F IT

## Sistema hidráulico

Tipo	Centro cerrado	
Tipo de bomba	Flujo variable y pistones axiales	
Capacidad de la bomba a 2.200 rpm	163 L/min	43 gal EE.UU./min
Presión del sistema: retroexcavadora	25.000 kPa	3.600 lb/pulg <sup>2</sup>
Presión del sistema: cargador	25.000 kPa	3.600 lb/pulg <sup>2</sup>

## Capacidades de llenado de servicio

Sistema de enfriamiento con aire acondicionado	22 L	5,8 gal EE.UU.
Tanque de combustible	165 L	44 gal EE.UU.
Aceite del motor con filtro	8,8 L	2,3 gal EE.UU.
Transmisión: servomecánica		
Tracción en 2 ruedas	18,5 L	4,9 gal EE.UU.
Tracción en 4 ruedas	18,5 L	4,9 gal EE.UU.
Transmisión: automática		
Tracción en 4 ruedas	19,0 L	5,0 gal EE.UU.
Eje trasero	16,5 L	4,4 gal EE.UU.
Engranajes planetarios	1,7 L	0,4 gal EE.UU.
Eje delantero (tracción en 4 ruedas)	11,0 L	2,9 gal EE.UU.
Engranajes planetarios	0,7 L	0,2 gal EE.UU.
Sistema hidráulico	95,0 L	25,1 gal EE.UU.
Tanque hidráulico	40,0 L	10,6 gal EE.UU.

- Requiere combustible de contenido ultrabajo de azufre  $\leq 15$  ppm de azufre en el combustible.

## Neumáticos

Las funciones se incluyen como combinación de neumáticos delanteros y traseros:

- 11L-16 (12 capas) F-3/19.5L-24 (12 capas) R4 ATU
- 12.5/80-18 (12 capas) 1-3/19.5L-24 (12 capas) ATU
- 12.5/80-18 NHS (12 capas) 1-3/21L-24 (16 capas) R4 ATU
- 340/80R 18/19.5L-24 (12 capas) R4 ATU
- 340/80R 18/500/70R 24 RT

## Especificaciones de operación: retroexcavadora

Radio de giro: ruedas exteriores delanteras	8,18 m	26' 10"
Radio de giro: cucharón cargador exterior más ancho	10,97 m	36' 0"

- ISO 5010.
- Tracción en 2 ruedas, tracción en 4 ruedas (rueda interior sin freno).

## Características del motor

- La regeneración es pasiva y no requiere que el operador realice ninguna acción ni que interrumpa su trabajo.
- Pistones de tres anillos hechos de aleación ligera de silicio/aluminio para proporcionar mayor resistencia y una máxima conductividad térmica.
- Cigüeñal forjado en acero al cromo/molibdeno con muñones templados por inducción o nitrocarburados.
- Los sellos de aceite de los cigüeñales delantero y trasero son de Viton y PTFE tipo "labio" que proporcionan un sellado integral contra el polvo.
- Las válvulas de admisión de acero al cromo/silicio resistentes al calor y las válvulas de escape revestidas con estelita proporcionan una vida útil prolongada.
- El bloque de motor es una aleación de hierro fundido de alta resistencia, con diseño de faldón profundo y monobloque, lo que aumenta la fortaleza y prolonga su duración.
- La culata está hecha de una aleación de hierro fundido de alta resistencia con grosor extra de la plataforma y de las paredes. Los orificios de admisión y escape están fundidos con precisión para permitir un flujo óptimo del gas.
- El sistema de combustible de inyección directa proporciona una alimentación precisa de combustible, mientras que la bomba eléctrica para levantamiento montada de forma remota mejora la facilidad de servicio.
- Filtro de aire de sello axial de tipo seco con sistema automático de antefiltro integrado para expulsión de polvo e indicador del estado del filtro.
- Sistema eléctrico directo de arranque y carga de 12 voltios con batería libre de mantenimiento del Grupo 31 de 880 CCA.
- Sistema auxiliar de arranque estándar de bujías incandescentes que permite un arranque eficiente en clima frío.
- Tren de engranajes con alta relación de contacto, cubierta superior fija para aislamiento periférico y diseño de bloque de culata abierta que reducen el ruido del motor.
- Mayor par mínimo para mejorar el rendimiento del motor y de la máquina.
- El motor está equipado con una bomba eléctrica de cebado de combustible.

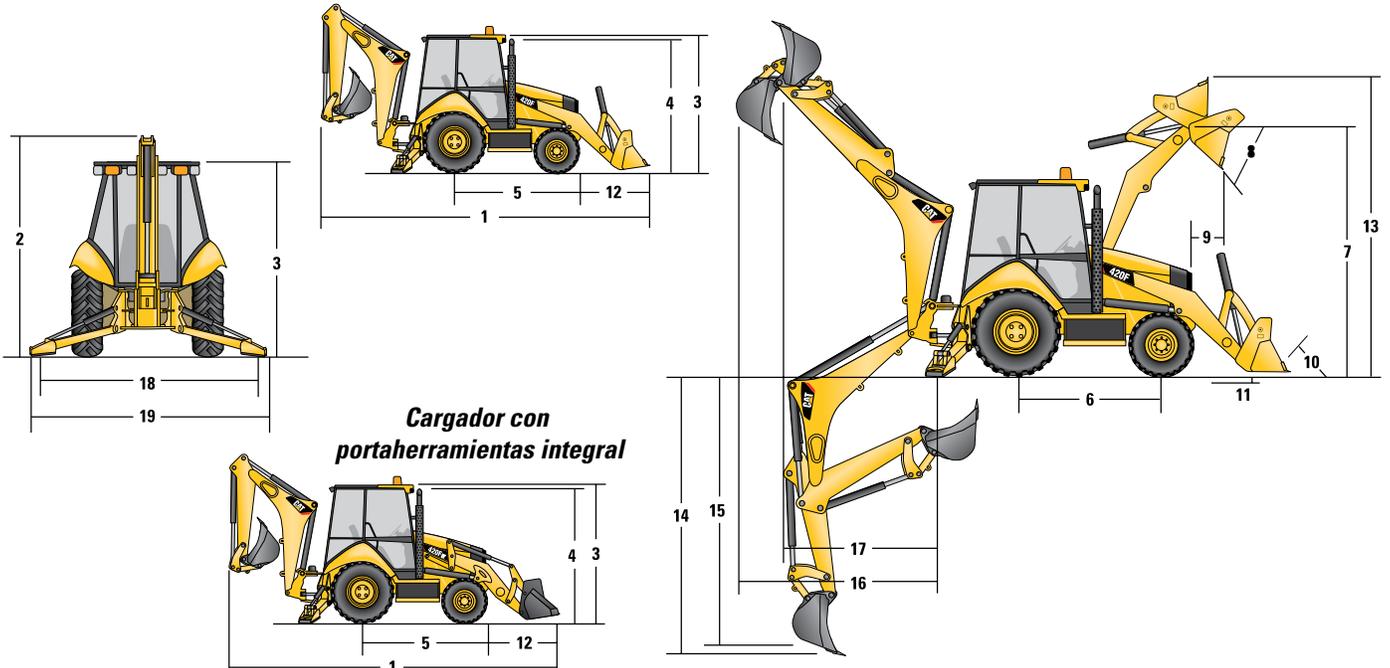
## Frenos

Características:

- Los frenos cumplen con las siguientes normas: SAE J1473 e ISO 3450.
- Autoajustables, completamente cerrados y sellados.
- Los pedales del freno se pueden trabar durante el desplazamiento por carretera.
- Los frenos de estacionamiento/secundarios son independientes del sistema de freno de servicio. El freno de estacionamiento se conecta mecánicamente por medio de una palanca de mano ajustable ubicada en la consola derecha.

## Dimensiones de la máquina

### Cargador de inclinación única



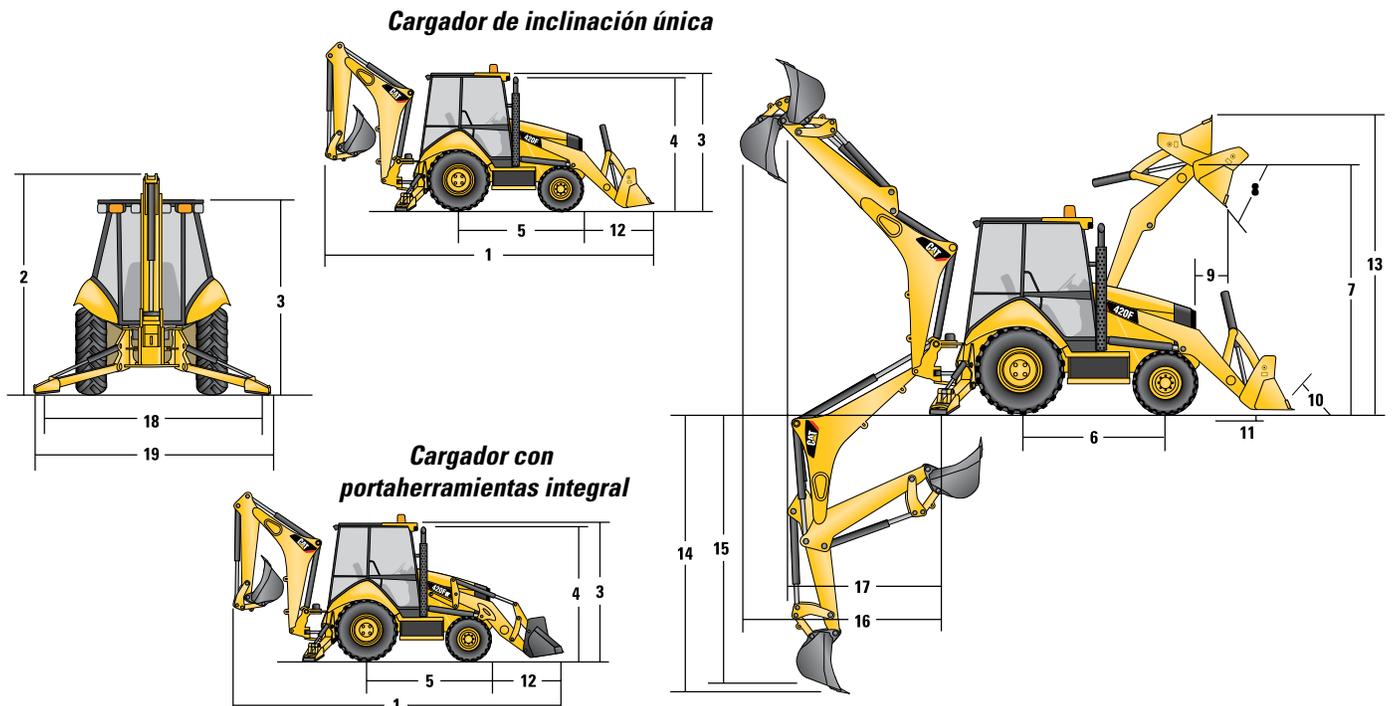
### Cargador de inclinación única

	Uso general (0,96 m³/1,25 yd³)		Uso general (1,1 m³/1,4 yd³)		Uso general (1,15 m³/1,5 yd³)		Uso múltiple (1,0 m³/1,3 yd³)		Uso múltiple (1,1 m³/1,4 yd³)	
<b>1</b> Longitud total para el transporte	7.169 mm	23' 6"	7.208 mm	23' 8"	7.208 mm	23' 8"	7.133 mm	23' 5"	7.133 mm	23' 5"
Longitud total (cargador en el suelo)	7.141 mm	23' 5"	7.161 mm	23' 6"	7.161 mm	23' 6"	7.059 mm	23' 2"	7.059 mm	23' 2"
<b>2</b> Altura total para el transporte: brazo estándar	3.577 mm	11' 9"	3.577 mm	11' 9"	3.577 mm	11' 9"	3.577 mm	11' 9"	3.577 mm	11' 9"
Altura total para el transporte: brazo extensible	3.631 mm	11' 11"	3.631 mm	11' 11"	3.631 mm	11' 11"	3.631 mm	11' 11"	3.631 mm	11' 11"
Ancho total	2.322 mm	7' 7"	2.322 mm	7' 7"	2.322 mm	7' 7"	2.322 mm	7' 7"	2.322 mm	7' 7"
<b>3</b> Altura hasta la parte superior de la cabina/techo	2.819 mm	9' 3"	2.819 mm	9' 3"	2.819 mm	9' 3"	2.819 mm	9' 3"	2.819 mm	9' 3"
<b>4</b> Altura hasta la parte superior del tubo de escape vertical	2.744 mm	9' 0"	2.744 mm	9' 0"	2.744 mm	9' 0"	2.744 mm	9' 0"	2.744 mm	9' 0"
Altura hasta el pasador de articulación del cargador (transporte)	381 mm	1' 3"	428 mm	1' 5"	428 mm	1' 5"	432 mm	1' 5"	432 mm	1' 5"
Espacio libre sobre el suelo (mínimo)	320 mm	1' 1"	320 mm	1' 1"	320 mm	1' 1"	320 mm	1' 1"	320 mm	1' 1"
<b>5</b> Línea de centro del eje trasero hasta la parrilla delantera	2.705 mm	8' 10"	2.705 mm	8' 10"	2.705 mm	8' 10"	2.705 mm	8' 10"	2.705 mm	8' 10"
Entrevía de ruedas delanteras	1.895 mm	6' 3"	1.895 mm	6' 3"	1.895 mm	6' 3"	1.895 mm	6' 3"	1.895 mm	6' 3"
Entrevía de ruedas traseras	1.714 mm	5' 7"	1.714 mm	5' 7"	1.714 mm	5' 7"	1.714 mm	5' 7"	1.714 mm	5' 7"
<b>6</b> Distancia entre ejes, tracción en 2 ruedas/en todas las ruedas	2.200 mm	7' 3"	2.200 mm	7' 3"	2.200 mm	7' 3"	2.200 mm	7' 3"	2.200 mm	7' 3"

Las dimensiones y especificaciones de rendimiento mostradas son para máquinas equipadas con neumáticos delanteros 12.5/80-18 SGL, neumáticos traseros 19.5L-24 IT525, techo ROPS, brazo estándar con cucharón de servicio estándar de 610 mm (24"), cucharón cargador de 0,96 m³ (1,25 yd³) y equipos estándar a menos que se especifique lo contrario.

# Especificaciones del modelo 420F/420F IT

## Dimensiones de la máquina



### Cargador con portaherramientas integral y acoplador rápido

	Uso general (1,0 m <sup>3</sup> /1,3 yd <sup>3</sup> )		Uso general (1,15 m <sup>3</sup> /1,5 yd <sup>3</sup> )		Uso múltiple (1,1 m <sup>3</sup> /1,4 yd <sup>3</sup> )	
	mm	ft' in"	mm	ft' in"	mm	ft' in"
<b>1</b> Longitud total para el transporte	7.250	23' 9"	7.279	23' 11"	7.211	23' 8"
Longitud total (cargador en el suelo)	7.244	23' 9"	7.287	23' 11"	7.197	23' 7"
<b>2</b> Altura total para el transporte: brazo estándar	3.577	11' 9"	3.577	11' 9"	3.577	11' 9"
Altura total para el transporte: brazo extensible	3.631	11' 11"	3.631	11' 11"	3.631	11' 11"
Ancho total	2.322	7' 7"	2.322	7' 7"	2.322	7' 7"
<b>3</b> Altura hasta la parte superior de la cabina/techo	2.819	9' 3"	2.819	9' 3"	2.819	9' 3"
<b>4</b> Altura hasta la parte superior del tubo de escape vertical	2.744	9' 0"	2.744	9' 0"	2.744	9' 0"
Altura hasta el pasador de articulación del cargador (transporte)	396	1' 4"	391	1' 3"	386	1' 3"
Espacio libre sobre el suelo (mínimo)	320	1' 1"	320	1' 1"	320	1' 1"
<b>5</b> Línea de centro del eje trasero hasta la parrilla delantera	2.705	8' 10"	2.705	8' 10"	2.705	8' 10"
Entrevía de ruedas delanteras	1.895	6' 3"	1.895	6' 3"	1.895	6' 3"
Entrevía de ruedas traseras	1.714	5' 7"	1.714	5' 7"	1.714	5' 7"
<b>6</b> Distancia entre ejes, tracción en 2 ruedas/en todas las ruedas	2.200	7' 3"	2.200	7' 3"	2.200	7' 3"

Las dimensiones y especificaciones de rendimiento mostradas son para máquinas equipadas con neumáticos delanteros 12.5/80-18 SGL, neumáticos traseros 19.5L-24 IT525, techo ROPS, brazo estándar con cucharón de servicio estándar de 610 mm (24"), cucharón cargador de 0,96 m<sup>3</sup> (1,25 yd<sup>3</sup>) y equipos estándar a menos que se especifique lo contrario.



**WACKER  
NEUSON**  
*all it takes!*

## DPU 6555

Planchas Vibratorias reversibles



### Insuperable en cualquier subsuperficie

El DPU6555 ofrece una productividad extremadamente elevada gracias a su enorme fuerza de compactación combinada con una rápida marcha de avance y retroceso. Es un puede todo para cualquier tipo de obras en las que existen demandas extremas de eficiencia en el rendimiento de una unidad. Además, ofrece unas características excelentes en lo que respecta a la vida útil y el confort en la operación. Sus campos de aplicación óptimos son la compactación de capas antiheladas y capas soporte en la construcción de carreteras, caminos y plazas de aparcamiento, así como para rellenar construcciones. Gracias a una frecuencia de 69 Hz, la DPU6555 es de aplicación universal e incluso compacta de forma fiable los pavimentos adoquinados pesados. El modelo DPU6555Hec está equipado con Compatec, el control de compactación de Wacker Neuson.

- La nueva barra de mando reduce la vibración mano-brazo al mínimo y, por tanto, ofrece un elevado confort en la operación con el máximo rendimiento de compactación. Sin limitación del tiempo de operación ni gastos en documentación.
- Un dispositivo de hombre muerto impide que el usuario quede atrapado entre el equipo y un objeto durante el trabajo en marcha atrás.
- Se puede acceder fácil y rápidamente a todos los puntos de mantenimiento. Funciones de confort extensivas: tales como detención automática por falta de aceite, correa trapezoidal autoajustable, alternador libre de todo mantenimiento, conexión de inicio externa accesible desde el exterior.
- Es posible elegir un marco más estrecho. Sus compactas dimensiones facilitan la aplicación en espacios estrechos.
- Compatec: cuadro indicador de fácil lectura que muestra el progreso relativo de la compactación. Advertencia de sobrecarga y sobrecompactación. Ajuste de brillo de las luces a la luz ambiente. Extremadamente robusto y fiable.



**WACKER  
NEUSON**  
*all it takes!*



#### **Vibración mano-brazo muy baja**

La barra de mando especialmente diseñada por Wacker Neuson genera una vibración mano-brazo muy baja inferior a  $2,5 \text{ m/s}^2$ ,

lo cual permite que el usuario final la opere sin escalones durante todo el día, sin impedimentos ni peligros.

No se requiere documentación cuando un usuario trabaja únicamente con un equipo cuya aceleración es inferior a  $2,5 \text{ m/s}^2$ .



#### **Diseño intuitivo de la palanca de mando**

Solo con mover la empuñadura hacia adelante y hacia atrás se puede cambiar la dirección de marcha y regular la velocidad.

#### **El panel de control**

- Construcción robusta y bien protegida de la suciedad y la humedad.
- Todas las funciones y cuadros indicadores están a la vista y son fácilmente accesibles: cerradura de arranque, luz de operación, lámpara de control de carga, pasador de inicio, reloj cuentahoras de servicio (a elección) y Compatec (a elección).



#### **Compatec: el control de compactación**

- Cuando el número de luces no aumente, se habrá alcanzado la máxima compactación posible del suelo en esta unidad.
- Disponibles directamente de fábrica



#### **Pasador de inicio**

- Acceso muy sencillo para cargar la batería, por ejemplo después de una pausa en invierno.
- Sin riesgo de acumulación de suciedad. El pasador de inicio se protege y solo se extrae si es necesario.



#### **Compactación precisa**

Con Compatec detectas el momento cuando el suelo se ha compactado lo suficiente. De este modo se evitan la sobrecompactación y la sobrecarga.



#### **Baja vibración mano-brazo**

Es esencial contar con una baja vibración mano-brazo, particularmente en una aplicación de operación continua. Nuestras planchas vibratorias reversibles pueden utilizarse sin límite de tiempo, y en su mayoría incluso sin necesidad de documentación.



#### **Transporte en un abrir y cerrar de ojos**

Tanto dentro de la obra como en un vehículo: sus sofisticados detalles hacen que el transporte de las planchas vibratorias sea práctico y sencillo.



#### **Confort para el usuario integrado**

Todos los modelos de Wacker Neuson son fáciles de manejar para unas condiciones de trabajo especialmente agradables.



## Datos técnicos

	DPU6555H	DPU6555He	DPU6555Hec	DPU6555Heap
<b>Características operativas</b>				
Peso de servicio kg	480	495	497	518
Fuerza centrífuga kN	65	65	65	65
Tamaño de la placa base (A x L) mm	550 x 900	550 x 900	550 x 900	550 x 900
Espesor de la placa base mm	12	12	12	12
Altura (altura libre sobre el suelo) mm	861	861	861	861
Ancho de trabajo (con placas adicionales) mm	710	710	710	860
Frecuencia Hz	69	69	69	69
Vibraciones mano-brazo m/s <sup>2</sup>	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 2.5
Avance máx. (según el estado del suelo y el entorno) m/min	28	28	28	28
Rendimiento superficial máx. (según el estado del suelo y el entorno) m <sup>2</sup> /h	1.200	1.200	1.200	1.445
Capacidad de ascenso %	46,6	46,6	46,6	46,6
Altura de transporte mm	1.521	1.521	1.521	1.521
Longitud de transporte mm	1.060	1.060	1.060	1.060
Anchura de transporte mm	780	780	780	780
Peso de transporte kg	484	501	502	530
<b>Datos del motor</b>				
Tipo de motor	Motor diésel de cuatro tiempos monocilíndrico refrigerado por aire	Motor diésel de cuatro tiempos monocilíndrico refrigerado por aire	Motor diésel de cuatro tiempos monocilíndrico refrigerado por aire	Motor diésel de cuatro tiempos monocilíndrico refrigerado por aire
Fabricante del motor	Hatz	Hatz	Hatz	Hatz
Motor	1D81S	1D81S	1D81S	1D81S
Cilindrada cm <sup>3</sup>	667	667	667	667
Potencia del motor máx. (DIN ISO 3046 IFN) kW	10,1	10,1	10,1	10,1
a revoluciones 1/min	3.600	3.600	3.600	3.600
Potencia del motor (potencia nominal) (DIN ISO 3046 IFN) kW	9,6	9,6	9,6	9,6
a revoluciones 1/min	2.800	2.800	2.800	2.800



**WACKER  
NEUSON**  
*all it takes!*

	DPU6555H	DPU6555He	DPU6555Hec	DPU6555Heap
Rendimiento de servicio (DIN ISO 3046 IFN) kW	6,8	6,8	6,8	6,8
a revoluciones 1/min	3.010	3.010	3.010	3.010
Consumo de combustible l/h	1,9	1,9	1,9	1,9
Capacidad del tanque de combustible l	6	6	6	6
Transmisión de fuerza	Desde el motor de accionamiento por el embrague centrífugo y la correa trapezoidal directamente al excitador.	Desde el motor de accionamiento por el embrague centrífugo y la correa trapezoidal directamente al excitador.	Desde el motor de accionamiento por el embrague centrífugo y la correa trapezoidal directamente al excitador.	Desde el motor de accionamiento por el embrague centrífugo y la correa trapezoidal directamente al excitador.
Tipo de combustible	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel

#### Nota

La disponibilidad de cada producto puede variar de país a país. Es posible que la información /productos no estén disponibles en tu país. Para más información sobre la potencia del motor, consulte las instrucciones de uso. La potencia de salida efectiva puede variar en función de las condiciones de funcionamiento.

Sujeto a modificaciones y a errores de impresión. Ilustraciones aproximadas.

Copyright © 2018 Wacker Neuson SE.