



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

“Pozos de bombeo, como alternativa para reducir los efectos de licuación de suelos ”

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Civil

AUTOR(ES)

Ñahui Pérez, Huber Estif (0000-0002-5037-0494)

Huillca Huayhua, Greyssi Séfora (0000-0001-8722-3319)

ASESOR

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo (0000-0001-8625-3989)

Lima, 18 de julio de 2020

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicado a mi madre Frine, por el inmenso apoyo que me brindó durante mi formación académica universitaria.

Estif Ñahui

A mi familia, que son mi mayor motivo en la vida y a Dios por su amor incondicional

Greyssi Huilca

RESUMEN

En esta investigación se presenta el análisis del costo de construcción e instalación del pozo de bombeo tipo tubular y la eficiencia de este mismo, en zonas susceptibles a licuación de suelos, para reducir su vulnerabilidad sísmica. Las zonas susceptibles, se determinaron con el cálculo del factor de seguridad del potencial de licuación de Seed e Idriss. En la etapa inicial, sin la instalación de los pozos, el FS resultó menor a la unidad ($FS < 1$), ya que, la zona de estudio presenta nivel freático superficial. El mismo, que tiene una alta incidencia en la ocurrencia de licuación, debido a que se genera una excesiva presión de poros originada por los sismos que reducen los esfuerzos efectivos del suelo hasta hacerlos nulo. Con ello, el suelo pierde toda resistencia. Con la instalación de pozos, se logró incrementar el FS por encima de la unidad ($FS > 1$). Para ello fue necesario la instalación de 4 pozos tubulares, con caudal de bombeo unitario de 20 litros/seg y una profundidad de 3.0 m, para un área de 1.20 Ha. La profundidad de los pozos y el caudal de bombeo deberá garantizar el abatimiento del nivel freático por encima de la profundidad óptima para que se mitigue la licuación de suelos. Finalmente, costo de construcción e instalación de los pozos, asciende a \$. 14,270.90 dólares.

Palabras claves: Licuación, SPT, potencial de licuación, pozos de bombeo.

“Pumping wells as an alternative to reduce liquefaction effects of soils”

ABSTRACT

This research presents the analysis of the cost of construction and installation of the tubular type pumping well and its efficiency, in areas susceptible to soil liquefaction, to reduce its seismic vulnerability. The susceptible areas were determined with the calculation of the safety factor of the liquefying potential of Seed and Idriss. In the initial stage, without the installation of the wells, the FS was less than unity ($FS < 1$), since the study area has a surface water table. The same, which has a high incidence in the occurrence of liquefaction, due to the excessive pore pressure generated by earthquakes that reduce the effective stresses of the soil until they are null. With this, the ground loses all resistance. With the installation of wells, it was possible to increase the FS above the unit ($FS > 1$). For this, it was necessary to install 4 tubular wells, with a unit pumping flow of 20 liters / sec and a depth of 3.0 m, for an area of 1.20 Ha. The depth of the wells and the pumping flow should guarantee the abatement of the water table above the optimal depth to mitigate the liquefaction of soils. Finally, the cost of construction and installation of the wells amounts to \$. \$ 14,270.90.

Keywords— Liquefaction, SPT, liquefaction potential, pumping wells.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	7
2	VULNERABILIDAD SÍSMICA POR LICUACIÓN	9
2.1	PARÁMETROS DE MEDICIÓN	9
2.2	ECUACIONES DE CÁLCULO	9
2.3	CÁLCULO DE POTENCIAL DE LICUACIÓN	11
3	POZOS DE BOMBEO	11
3.1	REDUCCIÓN DEL NIVEL FREÁTICO	12
3.2	PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	12
4	POZO TUBULAR	13
4.1	UBICACIÓN	13
4.2	MATERIALES Y EQUIPO	13
4.3	INSTALACIÓN	14
5	PROFUNDIDAD DE POZOS	15
5.1	PROFUNDIDAD ADECUADA	15
5.2	COMPROBACIÓN DE PROFUNDIDAD	15
6	ANÁLISIS DE EFICIENCIA	16
6.1	POZO TUBULAR	16
7	ANÁLISIS ECONÓMICO	20
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	21
8.1	POR EFICIENCIA:	21
8.2	POR COSTO:	21
8.3	ELECCIÓN DE LA PROFUNDIDAD ÓPTIMA	21
9	CONCLUSIONES	22
10	REFERENCIAS	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ensayo SPT	10
Tabla 2: Factor de seguridad determinado en la zona de estudio para medir el Potencial de Licuación	11
Tabla 3: Factor de seguridad con incremento de la profundidad de nivel freático	16
Tabla 4: Parámetros de entrada y parámetros calculados.....	17
Tabla 5: Verificación del abatimiento	19
Tabla 6: Presupuesto para un pozo tubular.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Sistema de bombeo de agua	12
Fig. 2. Ubicación de la zona de estudio	13
Fig. 3. Esquema de un pozo tubular	15
Fig. 4. Vista de los 04 pozos de bombeo en planta	18
Fig. 5. Vista en perfil de los 02 pozo.....	20
Fig. 6. Comparación de potencial de licuación	21

1 INTRODUCCIÓN

Los terremotos, liberan gran cantidad de energía, que pueden tener consecuencias devastadoras en ciudades cercanas al epicentro. En el terremoto del 11 de marzo en Japón se registraron 27 mil viviendas que habían sufrido daños graves debido a que estos, no fueron diseñados para resistir los efectos de licuación de suelos, estas viviendas presentaron inclinaciones y hundimientos excesivos que lo hacían imposible de habitar. Como contramedida a la licuación de suelos, se planteó reducir el nivel freático en los estratos de suelo en ciudades que más padecieron el fenómeno [1]. Por otro lado, el terremoto del 2007 de Pisco, en Perú, generó daños en el sector de agua y saneamiento cuantificables en 84 millones de soles [2]. El terremoto causó la muerte de 519 personas, más de 1500 heridos, 192 492 viviendas dañadas y 53397 familias damnificadas, generando una pérdida económica de 131.9 millones de dólares en el sector salud [3]. La licuación de suelos, generada por este terremoto, produjo daños considerables en las estructuras de los principales edificios de la ciudad, así como, en las plataformas de carreteras principales de ciudades cercanas al epicentro [4]. Este fenómeno de licuación, ocurre por la acumulación excesiva de la presión de poros en un suelo (principalmente en arenas sueltas). En un estado inicial, en una masa de suelo, el contacto entre los granos del suelo, están adheridas unas con otras por la fuerza de contacto. En este estado inicial, no existe exceso de presión de poros. En el estado, en el cual, las fuerzas cíclicas (fuerzas de sismo o gravitacionales) generan un incremento repentino de presión de poros, que ocasionan movimientos entre los granos y desplazamientos laterales, haciendo perder contacto entre los granos del suelo, al final el agua fluye fuera del suelo ocasionando una pérdida de la capacidad portante [5]. Por ello, se debe evitar, en lo posible la generación excesiva de las presiones de poro en el suelo. Se han propuesto diferentes soluciones para mitigar los efectos de licuación de suelos, una de ellas es la reducción del nivel freático en los estratos de suelo mediante pozos de bombeo (ya sean pozos tubulares o pozos a tajo abierto).

El gobierno de Japón inicia un proyecto de mejoramiento de suelos licuables. Evalúan las ciudades que fueron más afectadas, donde realizan estudios y determinan que a una profundidad de 3 metros se debe encontrar el nivel freático para que las viviendas no se vean afectadas por el fenómeno de licuación. Para ello, inician la construcción e instalación de pozos de bombeo, las cuales son conectadas con tuberías de drenaje. Por ejemplo, el área que se seleccionó en el distrito de Midorigaoka, para instalar los pozos y enterrar las tuberías de drenaje, fue de 200 metros por 500 metros; se estimó que el costo de instalación es de US

\$ 3 millones. El bombeo de agua es irregular los 4 primeros meses, luego se vuelve estable. Los resultados de aplicar esta metodología en varias ciudades de Japón es exitosa. El nivel freático se redujo a 3 metros de profundidad. Además, el asentamiento, debido al bombeo de agua, en las viviendas fue mínima y uniforme aproximadamente de 1 centímetro [1]. Se realiza estudios, ensayos de laboratorio que permiten crear y actualizar los mapas de dinámica del suelo en la ciudad de Cañete. En base a los ensayos realizados, de corte directo y utilizando la ecuación de Youd y See-Idris, determina que las zonas de Hualcará y Las Salinas son potencialmente licuables, además en varias zonas de la ciudad se evidencia alto nivel freático. El 50% del área de estudio, la capacidad de carga admisible del suelo es baja, el tipo de suelo que lo conforma es arena limosa (SM). Según los estudios realizados de peligro sísmico se determinó que los valores de aceleración son de 400 a 440 gals, para un período de retorno de 50 años; las intensidades son de VII-VII (MM), los cuáles provocarían daños estructurales, deslizamientos y desplazamientos y licuación [6]. Se describe las investigaciones en los laboratorios y los compara con los ensayos realizados in situ de los terremotos con mayor magnitud que generaron licuación de suelos. Así como los parámetros y características que influyen para que ocurra este fenómeno. En Japón influyo de gran medida el índice de plasticidad de finos del suelo. Si se tiene un suelo de arena limosa con índice de plasticidad < 15 o $C_c < 10\%$, es altamente probable que en este suelo sea licuable. Otro factor a considerar es la uniformidad del suelo, si se tiene un suelo con gravas bien gradadas, no es potencialmente licuable a diferencia de una arena mal clasificada. Los ensayos que se realizan en campo para evaluar el potencial de licuación generalmente son el SPT Y CPT. El autor recomienda que se debe realizar más investigaciones para determinar un método unificado de licuación de suelos y post licuación [7].

En esta investigación, se realizará el análisis de costo en la construcción e instalación del pozo tubular y el análisis de su eficiencia, sobre la efectividad que tienen este tipo de pozos, para reducir el nivel freático en un área mayor. El análisis se dio en zonas con alta vulnerabilidad sísmica por ocurrencia de licuación de suelos.

2 VULNERABILIDAD SÍSMICA POR LICUACIÓN

La vulnerabilidad sísmica ocurre, cuando el suelo pierde capacidad portante durante la ocurrencia de movimientos sísmicos de magnitudes considerables (terremotos) en un intervalo de tiempo; la ecuación 1 muestra la relación de los esfuerzos en una masa de suelo; el esfuerzo en el suelo (σ_{total}) depende del esfuerzo efectivo ($\sigma_{efectivo}$) y de la presión de poros (μ). La presión “ μ ” se incrementa rápidamente por efecto de las de las fuerzas del sismo; a tal punto de que el esfuerzo “ $\sigma_{efectivo}$ ” llega a ser casi nulo; como las cargas verticales (columnas, zapatas, cimientos, etc.) son resistidos por los esfuerzos efectivos, y estos, a su vez son casi nulos; la masa de suelo se asentará y las estructuras apoyadas sobre ellas se inclinarán inmediatamente hasta llegar a colapsar o quedar con daños estructurales, irreparables [8].

$$\sigma_{total} = \sigma_{efectivo} + \mu \quad (1)$$

2.1 Parámetros de medición

Para medir las propiedades mecánicas del suelo, se requiere realizar ensayos que permitan obtener parámetros representativos, uno de ellos, es el ensayo SPT, que consiste básicamente en contabilizar el número de golpes (N_{60}) de un martillo, en el suelo a profundidades variables; otros parámetros, son los siguientes, relación de vacíos, densidad relativa, límites plásticos, entre otros; estos parámetros, permitirán determinar si los suelos son susceptibles a licuación [5]

2.2 Ecuaciones de Cálculo

Para el cálculo de potencial de licuación se utilizó la ecuación de Seed e Idriss, que consiste en calcular un factor de seguridad, si el factor resulta menor a la unidad, el suelo es potencialmente licuable y si el factor de seguridad es mayor a la unidad el suelo no es licuable. El factor depende de CRR y CSR y estos a su vez, de las propiedades físico mecánicas del suelo, obtenidas en los ensayos de laboratorio y ensayos SPT [6]. A continuación, se muestra la ecuación de Seed e Idriss para el cálculo de potencial de licuación:

$$FS_{lic} = \frac{CRR}{CSR} \quad (2)$$

Donde:

CRR: Es la capacidad de resistencia del suelo a licuarse

CSR: Es la fuerza que actúa en el suelo, a consecuencia de un sismo

Por otro lado, se presenta la ecuación para calcular los parámetros mencionados anteriormente:

$$CSR = 0.65 \times \frac{PGA}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_0} \times r_d \quad (3)$$

Donde:

PGA: Aceleración máxima horizontal del suelo

g: gravedad

σ_{total} : Esfuerzo vertical total del Suelo

$\sigma_{efectivo}$: Esfuerzo vertical efectivo del suelo

r_d : Factor de respuesta no rígida suelo

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \times (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (4)$$

Donde:

N_{60} : Número de golpes SPT corregido

De las ecuaciones mostradas, se puede concluir que la variación del potencial de licuación se debe básicamente a la variación del N_{60} y de la variación de los esfuerzos actuantes en el suelo (efectivos y totales). En la tabla 1, se muestra el resultado de los ensayos SPT obtenidos en la zona de estudio.

Tabla 1: Ensayo SPT

TIPO DE SONDAJE	COORDENADAS UTM			N_{60}
	X(m)	Y(m)	Z(msnm)	
SPT-1	349904	8553665	49	9
SPT-2	349695	8553105	49	4
SPT-3	349562	8554171	58	16
SPT-4	349120	8553080	52	5
SPT-5	345360	8553016	25	4
SPT-6	351191	8554437	69	8
SPT-7	351002	8554500	89	4

2.3 Cálculo de Potencial de Licuación

Una vez mostrado la ecuación de Seed e Idriss, se procede a calcular el potencial de licuación para ciudad en estudio. En el que se realizaron los ensayos necesarios. En la tabla 2, se muestra los valores de CSR, CRR y F.S. Estos valores son calculados con el nivel freático inalterado, es decir, sin haber incrementado la profundidad del nivel de agua

Tabla 2: Factor de seguridad determinado en la zona de estudio para medir el Potencial de Licuación

Sondaje	Potencial de Licuación			
	Prof.(m)	CSR	CRR	F. S
SPT-1	0.9	0.15	0.10	0.70
SPT-2	0.6	0.08	0.06	0.81
SPT-3	1.4	0.23	0.17	0.74
SPT-4	0.7	0.09	0.07	0.80
SPT-5	0.6	0.09	0.06	0.76
SPT-6	0.8	0.12	0.10	0.80
SPT-7	0.6	0.12	0.06	0.54

De acuerdo a la tabla 2, se puede concluir que la ciudad es potencialmente licuable, ya que el factor de seguridad (F.S) es menor a la unidad ($F. S < 1$). Si se diera el caso de ocurrir un terremoto de grado 7.5 Mw (escala de magnitud de momento); el suelo presentaría el fenómeno de licuación, lo cual representa una alta vulnerabilidad. Para cambiar esta situación, será necesario, incrementar la profundidad del nivel freático (N.F). Ya que al variar el NF, los esfuerzos verticales en el suelo, serán afectados, y esto involucra una variación de los valores de CSR.

3 POZOS DE BOMBEO

Los pozos tienen la finalidad, generalmente de extraer agua desde el subsuelo (acuífero) mediante bombas hacia la superficie con fines diversos (agrícola, doméstico o industrial) en zonas en las cuales el recurso hídrico que corre por la superficie es escaso (zonas costeras).

Sin embargo, en zonas urbanas, el acuífero posee abundante recurso hídrico, que se evidencia en que el nivel freático es superficial (entre 0.50 m a 2 m).

Esto depende en gran parte de las propiedades hidráulicas de los acuíferos, que a su vez condicionan el diseño de los pozos de bombeo.

3.1 Reducción del nivel freático

Al bombear agua desde el acuífero hacia la superficie, el nivel de agua en el estrato de suelo, se ve afectado. Antes de que se empiece a bombear, el nivel de agua permanece estático (nivel estático); una vez que se empieza a bombear agua, el nivel de agua varía en relación al tiempo de bombeo (nivel dinámico), en la fig. 1, se puede apreciar de manera esquemática los niveles mencionados con el funcionamiento del pozo [8].

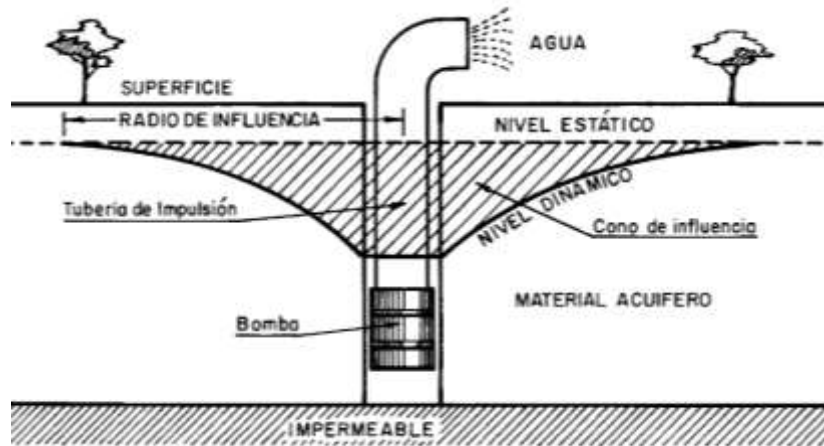


Fig. 1. Sistema de bombeo de agua
Fuente: Pozos y acuíferos

El nivel dinámico (N.D) de agua debe de coincidir con la profundidad óptima, que es definida como aquella en el que no ocurre el fenómeno de licuación de suelos. La variación de N.D depende de los parámetros hidráulicos del acuífero que se muestran a continuación

3.2 Parámetros Hidrogeológicos

- Permeabilidad (K): Es el flujo de agua que atraviesa una sección unitaria del acuífero, influenciado por el gradiente unitario temperatura de campo. Este parámetro se puede obtener a partir de las pruebas de bombeo. Los valores encontrados, estaban en el rango de $24.65 \times 10^{-4} \text{m/s}$ a $703.85 \times 10^{-4} \text{m/s}$.
- Transmisividad (T). Se define como, volumen de agua que atraviesa una banda de acuífero de ancho unitario, en un intervalo de tiempo. Este parámetro es representa la

capacidad que tiene el acuífero de ceder agua. En la zona de estudio, los valores de “T” oscilan entre $0.89 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ y $3.66 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

- Coeficiente de almacenamiento(S). Representa el volumen de agua que puede ceder un volumen unitario de acuífero; se presenta en porcentaje. En la ciudad de Cañete, el valor de “S” oscila entre 5 % y 15%.

4 POZO TUBULAR

La mayoría de este tipo de pozos son de sección circular, la propuesta de diseño de pozos tubulares, tiene las siguientes características:

4.1 Ubicación

La propuesta de construcción de pozo tubular, está ubicado en la ciudad de Cañete. En la Fig. 2 se muestra la ubicación exacta

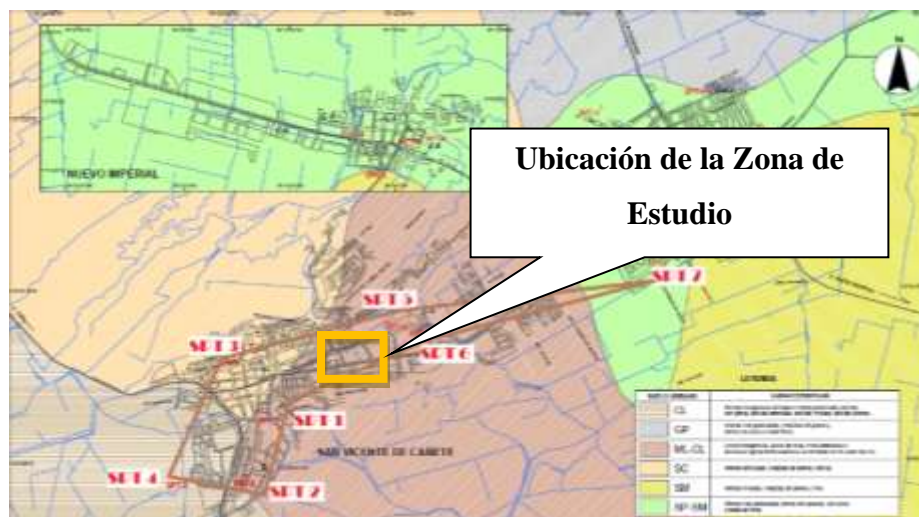


Fig. 2. Ubicación de la zona de estudio
Fuente: INDECI.
Año:2008

4.2 Materiales y Equipo

Los principales componentes de los pozos tubulares, son los siguientes [9]:

- Tuberías de ademe: Esta tubería, generalmente de acero, aunque también existen en PVC; está compuesta por una tubería lisa y una tubería ranurada. La primera se coloca en estratos donde no se haya saturación y la segunda, se coloca en estratos saturados, para captar el agua. Estas son colocadas dentro de la perforación debido a

que resisten las cargas laterales del suelo y evita que la perforación colapse. Se pueden instalar roscada o soldada.

- Filtros: Los filtros mejoran la calidad del agua del acuífero a bombear. Ya que reducen el ingreso de partículas finas del hacia el pozo. Los filtros más comunes son los de grava, que son colocados alrededor de las tuberías de ademe y dentro de la perforación.
- Electrobomba sumergible: Está conformado por el motor eléctrico y la bomba. Estos son los que impulsan el agua hacia la superficie
- Panel solar 270W de conexión a Red era Solar: Este panel deberá contener 60 células y se utilizará con reguladores maximizadores MPPT.

4.3 Instalación

Para la instalación, de los componentes del pozo, es necesario realizar excavaciones hasta una profundidad máxima de 6 metros. Por medio de una grúa o trípode se monta la tubería de ademe y finalmente se coloca la bomba sumergible. La dimensión de la sección dependerá del diseño y de los parámetros de sitio del acuífero.

- Instalación de la bomba: Se introduce la bomba, conectada a una tubería de 1/2", para su fijación en el tubo con la ayuda de dos cables inoxidables Conjuntamente se instala las sondas de nivel que permite alertar si la bomba está funcionando en seco o exista un desbordamiento de agua.
- Control bombeo de agua 24v: Se procede a conectar los cables de la bomba con el transformador de energía. El cual, cumple la función de regular el voltaje que necesita la bomba para su óptimo funcionamiento.
- Paneles solares: Se conecta el generador fotovoltaico a los terminales de + y - de panel al control de bombeo. Respetando la polaridad indicada. En la Fig. 3, se muestra los principales componentes del pozo.



Fig. 3. Esquema de un pozo tubular
 Fuente: Aguamarket
 Año: 2016

5 PROFUNDIDAD DE POZOS

Existe la necesidad de determinar la profundidad adecuada de los pozos. Dicha profundidad está condicionada con el nivel dinámico que se desea obtener en el acuífero y con las condiciones hidrogeológicas de la zona

5.1 Profundidad Adecuada

La profundidad propuesta, considerando las características hidráulicas del acuífero, para el pozo tubular es de 3 m. Este valor deberá ser corroborado en función a la profundidad del nivel freático que se desea incrementar, con la finalidad de reducir la incidencia de agua en la ocurrencia de licuación de suelos

5.2 Comprobación de profundidad

La comprobación de la profundidad de los pozos propuesta en esta investigación, se basa en las correlaciones de la ecuación de Seed e Idriss.

Debido a que la zona de estudio es vulnerable a licuación, se realizó la tabulación de los valores de la profundidad del nivel freático hasta encontrar una profundidad óptima. Posteriormente, se vuelve a calcular el potencial de licuación, y esta vez, el factor de seguridad es mayor a la unidad ($F.S > 1$). En la tabla 3, se muestra el resultado de potencial de licuación con la profundidad óptima calculada.

Tabla 3: Factor de seguridad con incremento de la profundidad de nivel freático

Tipo De Sondaje	Potencial de Licuación			
	Prof (m)	CSR	CRR	F. S
SPT-1	8.00	0.075	0.10	1.33
SPT-2	8.00	0.050	0.06	1.20
SPT-3	8.00	0.140	0.17	1.21
SPT-4	8.00	0.045	0.07	1.56
SPT-5	8.00	0.047	0.06	1.28
SPT-6	8.00	0.091	0.10	1.11
SPT-7	8.00	0.050	0.06	1.30

Se puede apreciar en la tabla 3, que el factor de seguridad resulta ser mayor a la unidad, por lo tanto, la profundidad propuesta es adecuada.

Con estos resultados, se realizará el análisis de eficiencia y costo de cada pozo, para determinar el pozo que mejor se adecue a la zona de estudio

6 ANÁLISIS DE EFICIENCIA

El análisis de eficiencia consiste en establecer la efectividad de reducir el nivel freático por el bombeo de flujo subterráneo de los pozos, es decir se busca determinar el pozo adecuado, para abatir el nivel freático del acuífero hasta la profundidad óptima. El nivel dinámico, que depende de la depresión cónica originada por el bombeo de agua dentro del radio de influencia en lo posible será mayor al nivel estático siempre y cuando, estos sobrepasen los 3 metros de profundidad. A continuación, se describe el análisis de eficiencia para el pozo tubular

6.1 Pozo Tubular

Para calcular el caudal de bombeo y el número de pozos necesarios que permitan abatir el nivel piezométrico a la profundidad para un área de 1.20 Ha ($a=120$ m; $b=100$ m); de se hará uso de la ecuación del gran pozo. La ecuación consiste básicamente en hallar el caudal para un pozo de dimensiones iguales al área delimitada; Así mismo se realiza el cálculo de caudal para el pozo unitario, al final, se realiza la división del caudal para la zona de estudio entre

el caudal del pozo unitario, con ello se podrá calcular el número de pozos [9]. A continuación, se detallan los cálculos realizados

$$Q = \frac{\pi \times k \times m \times s \times 2}{2.3 \times (\log R - \log A_{RE})} \quad (5)$$

Donde:

Q: caudal en m³/s para la zona de excavación

K: Conductividad hidráulica del acuífero(m/s)

s: Abatimiento dentro del área delimitado(m)

R: Radio de influencia del pozo(m)

ARE: Radio interno del pozo

El radio de influencia puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$R = 300 \times s \times \sqrt{k} \quad (6)$$

El radio interno del pozo, se puede calcular con la siguiente relación:

$$A_{RE} = \mu \times b \quad (7)$$

Para el cálculo de caudal (m³/seg) del pozo unitario, se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = \frac{\pi \times \phi \times h' \times s \times \sqrt{k}}{15} \quad (8)$$

Para calcular el número de pozos, se utiliza la siguiente ecuación. Donde “n” es el número de pozos.

$$n = \frac{Q}{q} \quad (9)$$

De las propiedades hidráulicas en el estudio hidrogeológico del acuífero y reemplazando en las ecuaciones, se obtiene lo siguiente:

Tabla 4: Parámetros de entrada y parámetros calculados

a (m)	120
b (m)	100
π	3.14
k(m/s)	0.0009

m	1.20
s(m)	14.45
2	2.00
R(m)	1301.22
A _{RE} (m)	75.00
Q(m ³ /seg)	0.07

π	3.14
\emptyset (m)	0.76
h(m)	4
k(m/s)	0.0009
q(m ³ /seg)	0.019

N° de pozos	Q(m ³ /seg)	0.07	4
	Q(m ³ /seg)	0.019	

Así mismo, en la Fig. 4, se muestra la ubicación de los 4 pozos en planta

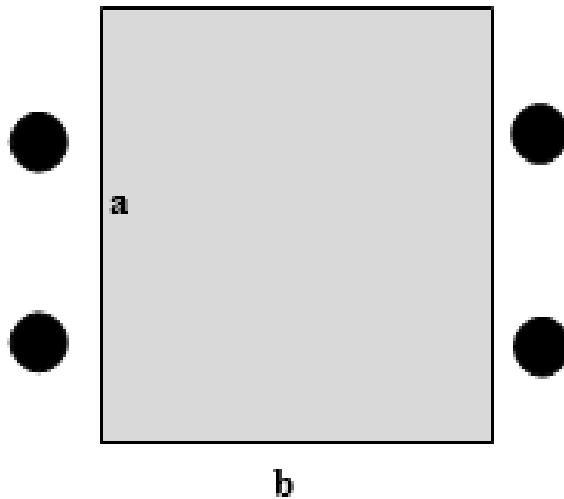


Fig. 4. Vista de los 04 pozos de bombeo en planta

Para corroborar de que se logrará abatir el nivel freático, se vuelve re calcular, el abatimiento

$$S_{EB} = \frac{1.5 \times q \times 2.3 \times ((\log b - \log r))}{\pi \times k \times 2 \times m} \quad (10)$$

Donde:

S_{EB} : Abatimiento por bombeo

q: Caudal del pozo unitario(m³/seg)

b: Distancia media entre 02 pozos

r: Radio del pozo(m)

m: Espesor del acuífero (m)

k: Conductividad hidráulica (m/s)

Reemplazando los valores en la ecuación, se obtiene lo siguiente:

Tabla 5: Verificación del abatimiento

q (m ³ /s)	0.02
b(m)	60.00
r(m)	0.76
k(m)	0.00
S_{EB} (m)	3.38

De acuerdo a la tabla 5, se puede apreciar que el caudal calculado para los pozos unitarios es adecuado, ya que se logra abatir el nivel freático a 3.38 metros, mayor a la profundidad óptima requerida.

Finalmente, en la Fig. 5 se muestra el perfil de los pozos tubulares [8]. El parámetro “s’”, es la profundidad que se busca abatir para reducir la incidencia del nivel freático en los estratos de suelo

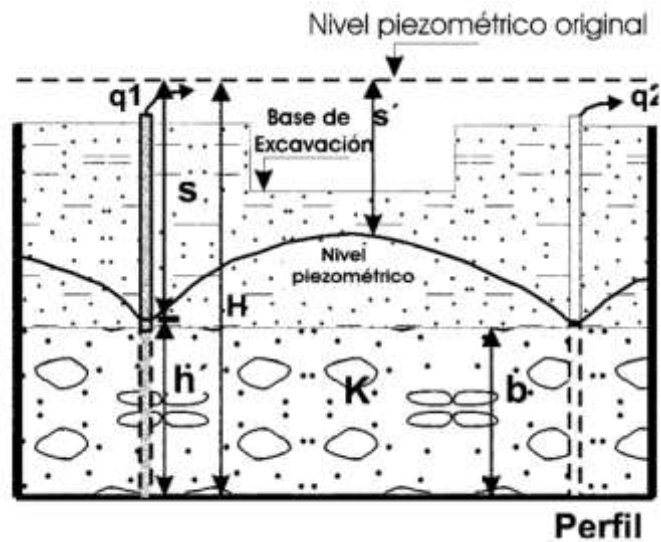


Fig. 5. Vista en perfil de los 02 pozo
Fuente: Pozos y acuíferos

7 ANÁLISIS ECONÓMICO

El presupuesto del pozo a tajo abierto es de \$3567.72 dólares. El cual incluye los equipos y materiales para su instalación, en la tabla 6 se describe el costo del pozo

Tabla 6: Presupuesto para un pozo tubular

Descripción	Und	Parcial (\$)
Bomba sumergible	und	674.45
Controlador	und	165.22
Sonda de Nivel	und	148.8
Paneles Solares	und	118.44
Soportes Paneles	und	61.69
Equipo de perforación	glb	920.25
Perforación del pozo	m	1152
Tubería de Columna	m	300
Colocación de grava	m ³	26.87
TOTAL (\$)		3567.72

8 ANALISIS DE RESULTADOS

8.1 Por eficiencia:

- Para lograr el abatimiento del nivel freático, en un área de 1.2 Ha, será necesario, instalar 4 pozos de bombeo, con un caudal de bombeo de 20 litros/seg.
- La profundidad de los pozos deberá ser como mínimo 3 metros. El diámetro, según el diseño será de 30 pulgadas.

8.2 Por costo:

- El costo de implementar un pozo tubular para reducir el nivel freático de la zona de estudio es de \$3567.72 dólares.

8.3 Elección de la profundidad óptima

Debido a la eficiencia del pozo tubular, se determinó que la profundidad óptima para la instalación del pozo tubular es de 3.0 metros. En la Fig. 6, se puede apreciar un incremento considerable del factor de seguridad, hasta llegar a una profundidad de 3 metros, sobrepasado este limite el incremento es mínimo.

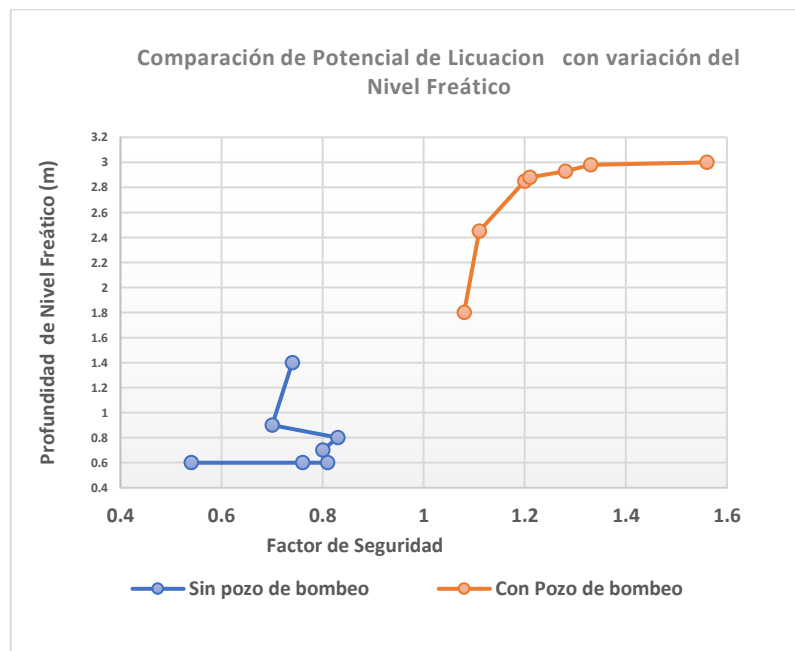


Fig. 6. Comparación de potencial de licuación

Por lo tanto, la profundidad seleccionada de 3.0 m, es adecuada.

9 CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta investigación son las siguientes:

- La zona de estudio, es altamente vulnerable a la licuación de suelos ya que los factores de seguridad se encuentran en el rango de 0.54-0.81, menor a la unidad ($FS < 1$)
- Con el incremento de la profundidad del nivel freático a 3 metros, los valores de los factores de seguridad, se encuentran en el rango de 1.11 a 1.56, mayores a la unidad ($FS > 1$). Por lo tanto se logra reducir la probabilidad de que ocurra el fenómeno de licuación de suelos.
- El mejoramiento de la vulnerabilidad sísmica por licuación de suelos, se dan en un área de 1.2 Ha (lado menor=100 metros y lado mayor=120 metros)
- El diseño establece la instalación de 4 pozos de bombeo a una profundidad de 3.38 metros, con un caudal de bombeo por pozo equivalente a 20 litros/seg.
- Los 04 pozos propuestos permiten abatir el nivel piezométrico en 3 metros, lo cual es adecuado, ya que es mayor a la profundidad óptima en el que no ocurre licuación.
- El costo de implementación de los 04 pozos tubulares es de 14270.90 dólares

10 REFERENCIAS

- [1] S. Yasuda, & T. Hashimoto, “New project to prevent liquefaction-induced damage in a wide existing residential area by lowering the ground water table”. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2016 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.09.029>
- [2] Banco Mundial. Impacto económico del terremoto de 2007 en el sector de agua potable y saneamiento en cuatro provincias del Perú, Mayo 2011 Recuperado de <http://bvpad.indec.gov.pe/doc/pdf/esp/doc1853/doc1853-contenido.pdf>
- [3] C. Bambarén, & M. Alatrística, Estimación del impacto socioeconómico del terremoto en Pisco en el sector salud peruano, 2009 Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rmh/v20n2/v20n2ao5.pdf>
- [4] A. Carrillo & Alcayhuamán, Licuación de suelos durante el sismo Pisco-Perú-2007, 2008.
- [5] H. Velasquez, Cálculo por método simplificado para evaluación de licuefacción en suelos limosos, inducidos por cargas cíclicas y gravitacionales (Método simplificado de Seed-Idriss, 1982, Wang, 1979). *Revista IX Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos*, (), 1-18, 2018 Recuperado

de <http://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/3577/ARTICULO%20ENVIADO%20A%20MENDOZA%20IX%20CAP%20y%20AH%20%20PARA%20PUBLICACION%20EN%20ANALES-EVALUACION%20LICUEFACCION.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [consulta: 03 de marzo de 2020].

- [6] Instituto Geofísico del Perú. “Zonificación Sísmica - Geotécnica del área urbana de la ciudad de San Vicente de Cañete: Provincia de Cañete - Departamento de Lima (Comportamiento dinámico del suelo), 2016. Recuperado de: <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/1357>
- [7] T. Kokusho, “Major advances in liquefaction research by laboratory tests compared with in situ behavior”, 2016. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.07.024>
- [8] A. Vargas, Aplicación De Métodos Analíticos Para El Cálculo De Abatimientos En Acuíferos Confinados, 2002. Revista Geológica de América Central, 27: 143-152.
- [9] M. Villanueva & A. Iglesias, Pozos y Acuíferos: Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo, 1984. Instituto Geológico y Minero de España.

