



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE POZOS
MECÁNICOS DE ACUERDO CON LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
MÁS IMPORTANTES DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

José Manuel Guzmán Perdomo

Asesorado por el Ing. Agr. Msc. Walter Arnoldo Bardales

Guatemala, marzo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE POZOS
MECÁNICOS DE ACUERDO CON LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
MÁS IMPORTANTES DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ MANUEL GUZMÁN PERDOMO

ASESORADO POR EL ING. AGR. MSC. WALTER ARNOLDO BARDALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alan Giovanni Cosillo Pinto
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañon López
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE POZOS MECÁNICOS DE ACUERDO CON LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS MÁS IMPORTANTES DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

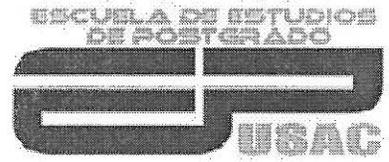
Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 13 de febrero de 2014.



José Manuel Guzmán Perdomo



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

AI-MIGPP-0001-2014

Guatemala, 13 de febrero de 2014.

Director:
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
 Escuela de Ingeniería Civil
 Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **José Manuel Guzmán Perdomo** con carné número **2007-14438**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería Geotécnica**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

MSc. Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
 Asesor (a)

MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
 Coordinador de Área de Infraestructura
 INGENIERO CIVIL
 COL. 2999

M.Sc. Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
 Maestro en Recursos Hidráulicos Opción Hidrología
 Ingeniero Agrónomo
 Colegiado 4279

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
 Directora
 Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
 /la





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,
 26 de marzo de 2014
 Ref. IC. 019.14

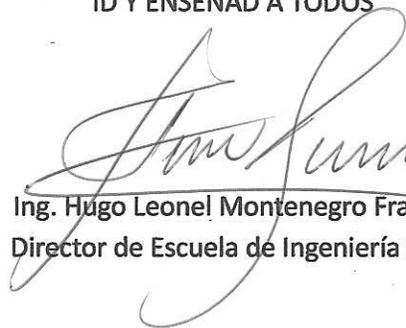
Ingeniero
 Hugo Humberto Rivera Pérez
 Secretario Académico
 Facultad de Ingeniería
 Guatemala

Ingeniero Rivera.

De manera atenta informo a usted que el estudiante José Manuel Guzmán Perdomo, Carnet No. 200714438, ha cumplido con el proceso de graduación de Licenciatura mediante la modalidad "Estudio de Postgrado", presentando a esta Dirección de Escuela el PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO, asesorado por el Msc. Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza, debidamente aprobado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado, por lo que en calidad de Director de la Escuela de Ingeniería Civil, doy mi visto bueno para continuar con el procedimiento correspondiente.

Sin otro particular me suscribo de usted.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director de Escuela de Ingeniería Civil



/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala

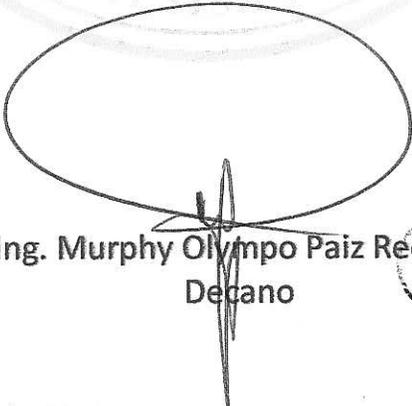


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 154.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ESTUDIO DEL DISEÑO DE POZOS MECÁNICOS DE ACUERDO CON LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS MÁS IMPORTANTES DEL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **José Manuel Guzmán Perdomo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 31 de marzo de 2014

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios Padre	Por darme salud, vida y la oportunidad de salir adelante.
Mis padres	Thelma Perdomo Barrientos, por ser la mejor e inigualable madre del mundo y por su constante apoyo a lo largo de mi vida; y José Manuel Guzmán su apoyo durante este recorrido.
Mi hija	Leah Guzmán Sosa, por darme la oportunidad de ser padre y por ser el regalo más hermoso de este mundo.
Elena Sosa Álvarez	Por demostrarme su amor en las buenas y en las malas.
Mis hermanas	Paulina y María José Guzmán, por su amor y su apoyo.
Mis abuelos	Por todo el amor y apoyo que me han dado a lo largo de mi vida.
Mis tíos y tías	Por el apoyo y cariño que me han dado desde el día que nací.
Mis primos y primas	Por su cariño y compañía desde mi niñez.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi máxima casa de estudio y un segundo hogar.
Escuela de Ingeniería Civil	Por permitirme adquirir conocimientos que me permitieron obtener el título de ingeniero civil.
Ing. Walter Arnoldo Bardales	Por facilitar y asesorar el presente trabajo y compartir sus conocimientos conmigo.
Ing. Jorge Antonio García Chiu	Por compartir sus conocimientos conmigo y apoyarme a lo largo de mis estudios.
Amigas y amigos	Por los momentos agradables que convivimos juntos. En especial a Marco Cermeño y Claudia Mayen, por su apoyo durante la carrera

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. OBJETIVOS	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	11
6. ALCANCES DEL TEMA	13
7. MARCO TEÓRICO	15
7.1. Agua subterránea	15
7.2. Acuífero	16
7.2.1. Acuífero libre	17
7.2.2. Acuífero confinado	17
7.2.3. Acuífero semiconfinado	17
7.2.4. Acuífero colgado	17
7.2.5. Acuífero fisurado y/o karstificado	18

7.3.	Recarga o alimentación de un acuífero.....	19
7.4.	Superficie freática.....	19
7.5.	Pozo mecánico.....	19
7.6.	Diseño de pozo mecánico	21
7.6.1.	Diámetro del pozo	21
7.6.2.	Profundidad del pozo	22
7.6.3.	Longitud de rejilla	22
7.6.4.	Abertura de las ranuras de la rejilla o tubería.....	23
7.6.5.	Diámetro de la rejilla.....	23
7.7.	Métodos de perforación.....	24
7.8.	Perfil estratigráfico según el muestreo de la perforación.....	25
7.9.	Entubado.....	25
7.9.1.	Utilización de rejillas diseñadas para la buena captación del agua, según perfil litológico y/o registro eléctrico	26
7.10.	Filtro de grava ubicado fuera de la tubería con rejilla.....	27
7.11.	Desarrollo y limpieza del pozo	27
7.12.	Prueba de bombeo (aforo del pozo).....	27
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	29
9.	CONTENIDO	31
10.	METODOLOGÍA Y TÉCNICAS CORRESPONDIENTES	35
10.1.	Variables	35
10.2.	Descripción del estudio	35
10.3.	Fase 1	36
10.4.	Fase 2	36
10.5.	Fase 3	37

10.6.	Fase 4.....	37
10.7.	Técnicas de análisis de información.....	37
10.8.	Línea de investigación.....	39
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	41
12.	RECURSOS NECESARIOS.....	43
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquemas de acuífero libre y confinado	18
2.	Esquemas pozo mecánico artesiano	20
3.	Cronograma de actividades	42

TABLAS

I.	Tabla de variables	38
----	--------------------------	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
Q	Caudal
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
cm/s	Centímetro por segundo
GPM	Galones por minuto
kg	Kilogramo
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
l/s	Litro por segundo
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³/s	Metro cúbico por segundo
m/s	Metro por segundo
ft²	Pie cuadrado
%	Porcentaje
Plg	Pulgada
V	Velocidad

GLOSARIO

Acuífero	El acuífero es aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas
Agua subterránea	El agua subterránea es el total de agua que se ha infiltrado y que encuentra bajo la superficie terrestre.
Agua superficial	Son aquellas que circulan sobre la superficie del suelo
Aluvión	Material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por corriente de agua. Puede estar compuesto de arena, grava, arcilla o limo.
Caliza	Roca sedimentaria compuesta por carbonato de calcio, generalmente calcita. Puede presentar trazas de magnesita y otros carbonatos
Caudal	Cantidad de fluido que pasa en un determinado tiempo.
Ceniza volcánica	Composición de partículas de roca y mineral eyectadas por una apertura volcánica.

Hidrogeología	Ciencia que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su circulación, sus condicionamientos y su captación.
IGN	Instituto Geográfico Nacional
Lava volcánica	Roca volcánica originada por flujos de lava que se han enfriado.
Perfil estratigráfico	Perfil que conforma de manera vertical la columna de los distintos tipos de rocas o suelos.
Pozo mecánico	Perforación vertical, en general de forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo de tipo radial.
Registro eléctrico	Proceso que consiste en adquirir y registrar información geológica proveniente de la profundidad de la tierra.
Relleno piroclástico	Material depositado por erupciones volcánicas.
Unidad hidrogeológica	Formación geológica considerada para explotación de agua subterránea.

RESUMEN

Un pozo mecánico es una perforación vertical en el subsuelo, el cual está diseñada para la explotación del agua subterránea, generalmente es de forma cilíndrica. En Guatemala se ha visto la necesidad de la explotación de las aguas subterráneas por medio de pozos mecánicos.

Es común encontrar problemas en pozos mecánicos, siendo frecuente encontrar un diseño que ocasiona problemas de baja producción de agua, producción de arena, entre otros. Por estas razones los pozos mecánicos deben diseñarse bajo criterios técnicos adecuados y así lograr el objetivo para el cual han sido diseñados.

En el siguiente estudio se presentarán los diseños adecuados de pozos mecánicos ubicados en condiciones hidrogeológicas como: roca fracturada (calizas y lavas volcánicas), rellenos piroclásticos y formaciones aluviales. Además se presenta el análisis cuantitativo de producciones mediante la variación de variables como el diámetro, la profundidad, la longitud de ranuras, el caudal

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional del departamento de Guatemala en los últimos años ha impulsado el aumento de la explotación de los recursos hídricos, principalmente para usos industriales y domésticos. Asimismo, la calidad y cantidad de las aguas superficiales han disminuido, como consecuencia, la población se ha visto en la necesidad de explotar otras fuentes de agua. Una de las fuentes de abastecimiento más importantes de los últimos tiempos es la explotación de aguas subterráneas por medio de pozos mecánicos.

El aprovechamiento del agua subterránea por medio este medio ha solucionado problemas de abastecimiento en áreas donde no se cuenta con otros tipos, siendo esta una solución favorable.

Los pozos mecánicos deben diseñarse bajo criterios técnicos adecuados debido a la importancia que conlleva el mismo y así lograr la producción necesaria para la que han sido previstos, con agua de calidad adecuada y a un precio razonable. En Guatemala es común encontrar problemas en pozos mecánicos, ya sea durante su construcción o bien en la operación de los mismos, siendo frecuente encontrar un mal diseño que ocasiona problemas de baja producción, o bien mala calidad del agua por aprovechamiento de acuíferos superficiales, producción de arena por la clase y ubicación de rejillas, etc. El empirismo utilizado y la falta de asesoramiento de especialistas en el tema han provocado estas consecuencias, siendo frecuente que los propietarios de proyectos recurran directamente a la asesoría de empresas perforadoras, que en la mayor parte de los casos carecen de personal técnico especializado.

Este estudio pretende brindar criterios y elementos técnicos adecuados para el diseño de pozos mecánicos ubicados en las condiciones hidrogeológicas más importantes del departamento de Guatemala: roca fracturada (calizas y lavas volcánicas), rellenos piroclásticos y formaciones aluviales.

Además, estará a disposición de empresas perforadoras de pozos mecánicos, ingenieros supervisores y población interesada en el tema del diseño de pozos mecánicos para el abastecimiento de agua potable u otros usos. Es necesario que el diseño se complemente con información proporcionada con el estudio hidrogeológico realizado por el hidrogeólogo, estudios de geofísica a través de sondeos eléctricos verticales, revisión de muestras del perfil estratigráfico, registros eléctricos e información proporcionada por pozos mecánicos existentes.

A continuación, se incluirán los conceptos generales en relación al agua subterránea y los pozos mecánicos, posteriormente se ubicará y delimitará la zona de estudio (departamento de Guatemala); la geología y la hidrogeología del departamento de Guatemala, donde se identifican las condiciones hidrogeológicas y estructuras geológicas, se presentarán como parte del documento. Luego, el proceso de perforación y construcción de un pozo mecánico donde se menciona la perforación, el entubado, la limpieza y desarrollo y la prueba de bombeo. Posteriormente, se procederá al análisis cuantitativo de producciones mediante la variación de las variables como el diámetro, la profundidad, la longitud de ranuras, el caudal, así como la interpretación y análisis de los resultados. Para finalizar se presentan las propuestas de los diseños de los pozos mecánicos (aluvión, rellenos piroclásticos y roca fracturada) y las especificaciones técnicas de los pozos mecánicos.

2. ANTECEDENTES

Los sistemas de perforación de pozos desde la superficie del terreno no fueron conocidos hasta la Edad Media, según Brantley (1961), en China hace 1 500 años se realizaron perforaciones a percusión, en donde sus principios prácticamente eran los mismos que se utilizan actualmente.

Las perforaciones de los pozos mecánicos en Guatemala comenzaron en 1964. Estas eran totalmente empíricas, se contaba con buena maquinaria traída del extranjero, pero no se tenía experiencia suficiente para la realización de un diseño óptimo y una adecuada perforación. Según Montes (2008), “los métodos de perforación de pozos construidos mediante el uso de máquinas perforadoras son los siguientes: perforación a percusión, perforación a rotación con circulación directa, perforación a rotopercusión neumática y perforación a rotación con circulación inversa”.

Como lo indica Custodio E. y M. R. Llamas (1983), “como cuestión previa al estudio de un proyecto de captación, ha de plantearse el objetivo del pozo respecto al acuífero sobre el cual vaya a establecerse”.

En Guatemala se han realizado estudios hidrogeológicos como: *Estudio hidrogeológico en las calizas del norte*, desarrollado por EMPAGUA y por una empresa internacional llamada SOGREAH realizado en 1990, en el cual se proponen algunos esquemas para pozos mecánicos ubicados en calizas. El objetivo principal de ese estudio fue lograr un mejor conocimiento de las condiciones hidrogeológicas de los acuíferos que se desarrollan en las calizas de la ciudad de Guatemala. “El objetivo de los pozos es la explotación

únicamente del acuífero de las calizas, en consecuencia, la cimentación del tubo principal en el contacto del relleno volcánico sirve para aislar dicho relleno e impedir la entrada al pozo de arenas y cenizas volcánicas. El diámetro del pozo deberá ser adaptado finalmente por un hidrogeólogo experimentado, dependiendo las condiciones encontradas”. Con lo anterior se puede inferir que el diámetro del pozo debe ser adaptado finalmente por un especialista. El diámetro del pozo forma parte del proyecto del diseño, por lo cual es una situación donde se ve la necesidad de implementar diseños de pozos adecuados para el caso.

Según Muñoz (1986), los pozos de aprovechamiento perforados en aluviones indican producciones comprendidas entre 150 galones por minuto y 2 000 galones por minuto. Por lo que es necesario tener un diseño adecuado que permita la extracción de las producciones antes mencionadas.

En junio de 2008, el ingeniero Jorge García realizó un estudio del agua subterránea en el valle de la ciudad de Guatemala, donde menciona tres zonas favorables para la perforación de pozos mecánicos con características diferentes para cada una de las zonas. Para cada zona se menciona la profundidad, el diámetro y la producción estimada que se puede lograr con un diseño adecuado.

García (2008), afirma que estas zonas son:

- “Zona de lavas fracturadas: se estima que con 12 pulgadas de diámetro y mil doscientos pies de profundidad máxima pueden obtenerse caudales de 1000 galones por minuto.

- Zona del medio Villalobos: con pozos mecánicos de 10 pulgadas de diámetro máximo y una profundidad de 800 pies en promedio, se considera que pueden proporcionar entre 350 y 500 galones por minuto.
- Zona abanico aluvial del Villalobos: se recomienda pozos de poca profundidad, unos 300 pies de 8 pulgadas de diámetro, con caudales que varían de 80 a 300 galones por minuto”.

Como lo explica el ingeniero García, existen en Guatemala áreas donde se puede aprovechar el agua subterránea con caudales bastante altos y considerables. Es por ello que se debe tener un diseño adecuado que cumpla con especificaciones técnicas y funcionales para cada caso.

El texto: *Diseño de pozos para agua* (Joel L. Mogg, 1963) hace referencia a diseños de pozos mecánicos con rejilla para usos municipales, industriales y de irrigación. Este texto proporciona factores básicos de diseño, como: el diámetro de la tubería del pozo, la profundidad total del pozo, la longitud de la rejilla, las aberturas de las ranuras de las rejillas, el filtro de grava, entre otros.

Según Samayoa (s.f), “la perforación de un pozo exploratorio tiene por objetivo obtener información hidrogeológica y la presencia de agua subterránea, para poder realizar un diseño técnicamente adecuado y eficiente, para la construcción de un pozo mecánico de aprovechamiento de agua subterránea”. Como lo explica el ingeniero Samayoa, la perforación exploratoria es importante para conocer y recaudar toda la información necesaria y poder realizar un adecuado diseño.

Con el transcurso del tiempo, el abastecimiento de agua potable por medio del agua subterránea ha ido creciendo debido a la demanda de la misma y por

falta de fuentes de abastecimiento, por lo que se debe recurrir a un buen diseño del pozo mecánico para tener un adecuado aprovechamiento del recurso hídrico. Como lo indica la Comisión Europea (2008), las aguas subterráneas constituyen la mayor reserva de agua dulce en el mundo, y representan más del 97 por ciento de agua dulce disponible en el planeta. Como lo indica Bellino (2012), “las ventajas que presenta el agua subterránea son: la buena calidad natural, la protección natural, la disponibilidad y presencia, así como la accesibilidad”. Por todo lo anterior debe tomarse en cuenta la protección del recurso y considerar la explotación racional.

3. OBJETIVOS

General

Diseñar pozos mecánicos en las unidades hidrogeológicas más importantes del departamento de Guatemala, de acuerdo a los criterios técnicos y funcionales.

Específicos

1. Establecer correlación entre la variación del resultado de producción del pozo mecánico mediante la manipulación de las variables del diseño.
2. Describir las características de las unidades hidrogeológicas más favorables, para la construcción de pozos mecánicos, sujetas al aprovechamiento de agua en el departamento de Guatemala.
3. Describir las especificaciones técnicas de los pozos mecánicos en las unidades hidrogeológicas más favorables en el departamento de Guatemala.

4. JUSTIFICACIÓN

El departamento de Guatemala presenta un crecimiento demográfico importante y cuyo abastecimiento de agua depende, principalmente del aprovechamiento de aguas subterráneas a través de la explotación por medio de pozos mecánicos. Se considera que es un área donde la mayoría de nuevos proyectos invierten en esta metodología.

El diseño y construcción de pozos mecánicos, en la mayoría de casos, se realiza empíricamente y sin la ayuda de especialistas en el tema (hidrogeólogos), siendo este un error, debido a que el tema es complejo y especializado. Por otra parte, se hace necesario conocer especificaciones técnicas de los elementos fundamentales de los pozos mecánicos y su proceso constructivo, así como el entorno geológico y el comportamiento del agua subterránea en el área del proyecto. Considerando que del diseño del pozo mecánico dependen los resultados de la producción del agua y su calidad, es conveniente contar con un documento actualizado y especializado para las condiciones específicas que se encuentran en el departamento de Guatemala, debido a que el recurso hídrico es esencial para la población.

Por estas razones se propone realizar este trabajo, ayudando a los interesados a obtener un mejor desempeño en el tema, para que se tenga mejores criterios para el diseño de pozos mecánicos, bajo los conocimientos previos de las unidades hidrogeológicas anteriormente mencionadas dentro del departamento de Guatemala.

Adicionalmente se pretende dar un amplio conocimiento a las personas interesadas en el diseño de los pozos mecánicos, y específicamente, para las

condiciones hidrogeológicas existentes en el departamento de Guatemala, de lo cual se carece en el país.

El trabajo de tesis se desarrollará dentro de la línea de investigación que corresponde al tema de las obras subterráneas, el cual forma parte de la hidrogeología. Con la realización del mismo, se pretende generar conocimientos fundamentales del diseño de pozos mecánicos. Además, dará un conocimiento sobre las características de las unidades hidrogeológicas antes mencionadas, las cuales son esenciales para el diseño de pozos mecánicos.

5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Guatemala existen varias zonas donde el diseño de pozos mecánicos adolece de deficiencias técnicas y funcionales, entre las que destacan: la profundidad del pozo, el diámetro y el tipo de tubería, el diseño del filtro de grava, la interpretación del acuífero y las muestras del mismo. En distintas ocasiones se desconoce y se malinterpreta las condiciones hidrogeológicas del área.

Del análisis previo de esta situación se considera que las causas de esto podrían incluir el empirismo, la falta de estudios hidrogeológicos, la mala interpretación de las muestras recuperadas en la perforación y los estudios de geofísica, entre otros.

Entre las principales consecuencias de este problema pueden mencionarse las siguientes: la baja producción y problemas de calidad del agua, o una combinación de ambos, producción de arena por la clase y tipo de rejillas, pozos secos, entre otras.

En Guatemala, el aprovechamiento del agua subterránea por medio de pozos mecánicos es una de las formas más usuales de abastecimiento de agua debido principalmente, a la escasez o contaminación de otras fuentes de abastecimiento. El crecimiento demográfico ha demandado la construcción de pozos mecánicos en las diferentes áreas del mismo, por lo que es necesario contar con un diseño adecuado, para que este cumpla adecuadamente su función.

El presente trabajo se centrará únicamente en el diseño de pozos mecánicos.

Por lo anterior se formula la siguiente pregunta central:

¿Cuál es el diseño adecuado de los pozos mecánicos ubicados en las unidades hidrogeológicas más importantes del departamento de Guatemala?, tomando en cuenta las variables de diseño como: el caudal, diámetro de la tubería del pozo, profundidad, longitud de la rejilla, aberturas de la rejilla, el filtro de grava, entre otras.

Además es necesario contestar:

¿El resultado de producción del pozo mecánico varía mediante la manipulación de las variables del diseño?

¿Cuáles son las características de las unidades hidrogeológicas más favorables para la perforación de pozos mecánicos en el departamento de Guatemala?

¿Cuáles son las especificaciones técnicas adecuadas para los pozos mecánicos en las unidades hidrogeológicas antes mencionadas?

6. ALCANCES DEL TEMA

Este estudio generará un documento en el cual se presentarán los diseños adecuados de pozos mecánicos ubicados en las unidades hidrogeológicas más favorables del departamento de Guatemala: rellenos piroclásticos, roca fracturada y materiales aluviales. Asimismo, incluye las variables esenciales en el diseño del pozo, como su diámetro, profundidad, longitud de la rejilla, aberturas de la rejilla, filtro de grava, entre otras.

Este estudio es de tipo correlacional, busca conocer el comportamiento de la producción del pozo mecánico mediante las variaciones las variables de diseño.

Con la manipulación de las variables del diseño del pozo, este estudio busca determinar de manera cuantitativa el cambio que existe en la producción del pozo, con el fin de verificar que el diseño del pozo se ve afectado por estas variables, lo cual puede significar un mal diseño.

Además, pretende brindar un conocimiento en el diseño y especificaciones técnicas de los pozos mecánicos al interesado en el tema, aplicado al departamento de Guatemala.

Como también, beneficiar a las empresas perforadoras, a los supervisores técnicos de perforación de pozos mecánicos, desarrolladores de proyectos y profesionales en general, de lineamientos a seguir para el diseño de pozos mecánicos, aplicando los conceptos establecidos y que identifican el tipo de unidades hidrogeológicas en el departamento de Guatemala.

Brindar información sobre los distintos pozos mecánicos y la función que puede tener cada uno de los mismos.

Pretende incentivar a los entes interesados en la investigación, desarrollar diseños de pozos mecánicos en distintas partes del país, tomando en cuenta la geología, la ubicación y otros aspectos fundamentales.

7. MARCO TEÓRICO

Según Davis y De Weist (1966), en 1802 Lamarck fue el primero en utilizar la palabra hidrogeología y lo hizo para definir el conjunto de fenómenos de erosión, transporte y sedimentación producidos por la geodinámica externa, el cual no tuvo aceptación. Meinzer (1942) en su libro *Hidrology*, considera que la Hidrología es la ciencia que se ocupa del agua superficial y terrestre. A lo largo de los años se ha mantenido una discusión acerca de la adecuación del término.

Asimismo, Mijailov (1985) indica que la Hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación.

7.1. Agua subterránea

El agua subterránea es el total de agua que se ha infiltrado y que se encuentra bajo la superficie terrestre. También en el interior de poros entre partículas sedimentarias y en las fisuras de las rocas más sólidas. El agua subterránea puede aparecer en la superficie en forma de manantiales o puede ser extraída mediante pozos.

El agua subterránea se encuentra incluida en el ciclo del agua en la naturaleza, si bien por su ubicación y dependiendo, entre otros factores, de la

permeabilidad de los estratos que las alojan o de aquellos que las separan de la superficie, su velocidad de circulación dentro del ciclo es en términos generales marcadamente menor que las de aguas superficiales.

En la actualidad y debido a la elevada explotación a que son sometidas las aguas subterráneas, en muchos sitios ha disminuido notablemente el período de renovación, particularmente de aquellas que son destinadas al riego agrícola, en donde ingentes volúmenes de agua se evaporan, incluso durante la misma operación de riego o inmediatamente después al quedar expuestas sobre la superficie y sujetas a la radiación solar. A su vez, el escurrimiento superficial que en muchos casos se genera hace que las aguas subterráneas alcancen cuerpos de agua superficial desde donde se evaporan. Además, la extracción desde los puntos de captación genera incrementos en las habitualmente muy bajas velocidades de circulación natural de las aguas subterráneas en el interior de los medios porosos que, normalmente constituyen los acuíferos (Bellino, 2012).

7.2. Acuífero

El acuífero es aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas, que permite que el hombre pueda aprovecharla como lo indica en su libro Custodio E. y M. R. Llamas (1983). Dentro de estas formaciones se pueden encontrar materiales muy variados como gravas de río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas, entre otros.

7.2.1. Acuífero libre

Según Vallejo, Ferrer, Ortuño y Oteo (2002), “es aquel en el que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la que tienen almacenada”.

7.2.2. Acuífero confinado

El agua que contienen está sometida a una presión superior a la atmosférica y entre dos capas confinadas. Por este motivo al perforar pozos que atraviesen el límite superior del material que constituye el acuífero, se observará que el nivel del agua asciende muy rápido hasta que se estabiliza en el nivel piezométrico. Podrán darse pozos surgentes si el nivel del agua queda por encima del nivel topográfico y pozos artesianos si el nivel se estabiliza por debajo de la cota del terreno. (Casanova, 2013).

7.2.3. Acuífero semiconfinado

Constituyen una variedad de los confinados, y se caracterizan por tener el techo (parte superior) y/o el muro (parte inferior) sellado por materiales que no son totalmente impermeables, sino que constituyen un acuitardo, es decir, un material que permite una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal.

7.2.4. Acuífero colgado

Según Casanova (2013), “el agua que se infiltra queda atrapada por una capa impermeable para formar un lentejón. Los acuíferos colgados son más

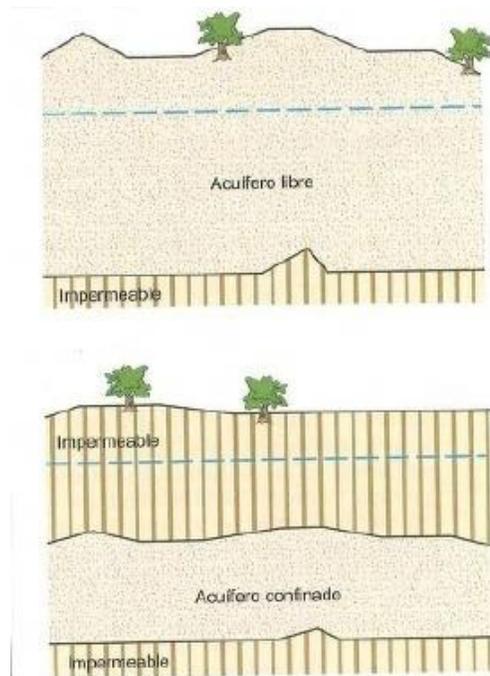
comunes de lo que se pueda suponer, ocupando en ocasiones unos pocos centímetros de espesor, se alimenten después de una recarga muy excepcional”.

No suponen un recurso muy fiable, ya que a veces se puede perforar del todo, y el pozo construido facilita el drenaje del agua contenida en el lentejón hacia la zona saturada.

7.2.5. Acuífero fisurado y/o karstificado

Aquellos en los que el agua circula a través de las fisuras y las grietas que hay entre las rocas.

Figura 1. Esquemas de acuífero libre y confinado



Fuente: VALLEJO et al. p. 266.

7.3. Recarga o alimentación de un acuífero

En términos generales se produce a partir de las aguas de precipitación que escurren (escorrentía superficial) y se infiltran. En ocasiones intercambian agua con los cuerpos superficiales.

7.4. Superficie freática

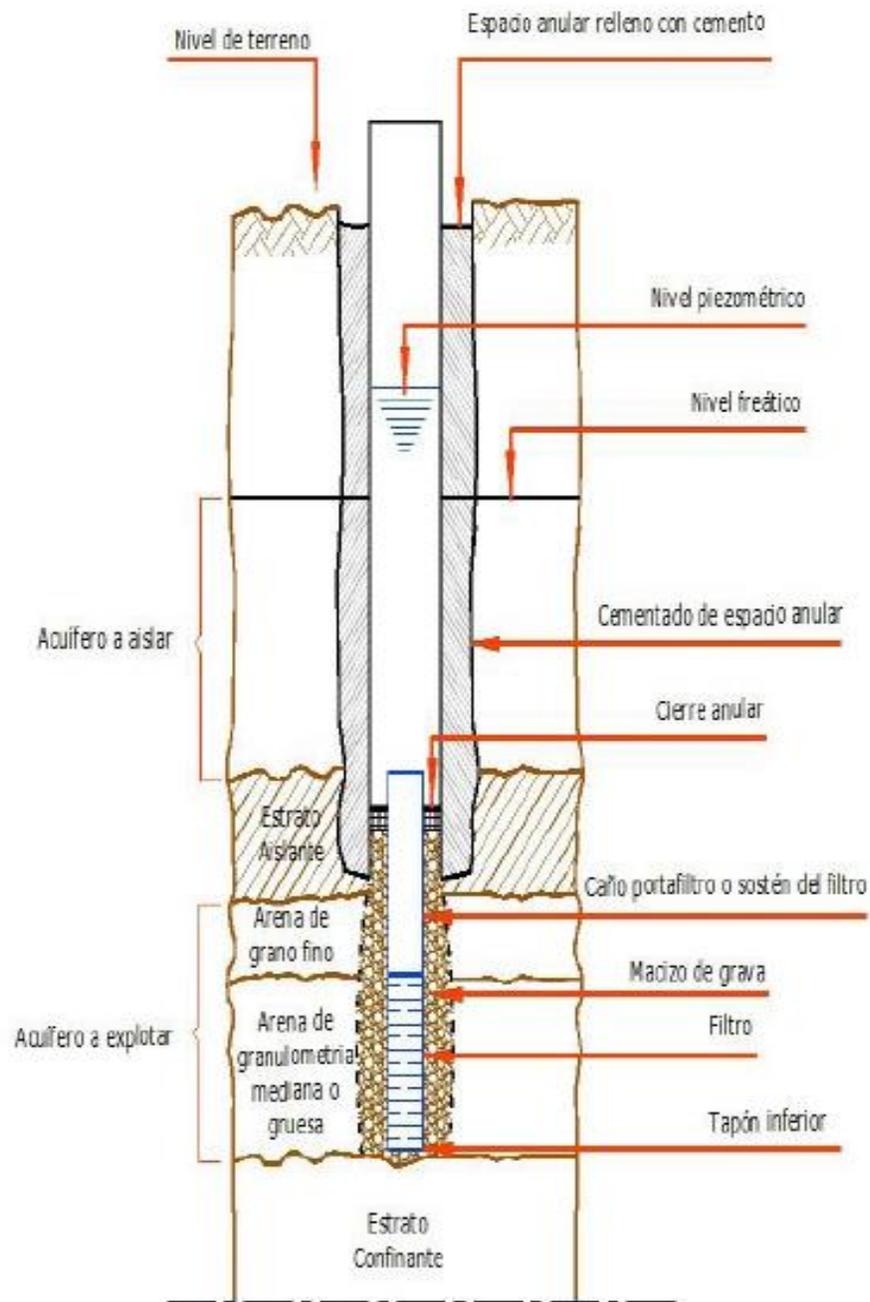
La superficie determina el nivel de las aguas subterráneas. Si el acuífero no está confinado a la superficie freática, también se le llama superficie piezométrica y está en equilibrio con la atmósfera (Casanova, 2013).

Actualmente, cuando se habla de captaciones para la explotación de aguas subterráneas, suele entenderse implícitamente, que se trata de pozos perforados de manera vertical. Sin embargo, hay otros sistemas constructivos que permiten el mismo propósito, tales como: pozos excavados o de gran diámetro, pozos de drenes radiales, zanjas de drenaje y galerías filtrantes o minas de agua. La captación estudiada será la de los pozos mecánicos.

7.5. Pozo mecánico

El pozo mecánico es una perforación vertical, en general de forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo de tipo radial. (Custodio et. al, 1983). Suele tomarse la precaución de asegurar sus paredes con tubería de protección de acero negro para evitar su deterioro y derrumbe, y que no cause daño masivo o grave que podría provocar el taponamiento del pozo. Ver figura 2.

Figura 2. **Esquemas pozo mecánico artesiano**



Fuente: BELLINO, Norberto. p. 84.

7.6. Diseño de pozo mecánico

Según Johnson (1975), comenta que “el diseño de un pozo mecánico implica escoger los factores dimensionales apropiados para la estructura de este y de los materiales que se van a utilizar en su construcción. Un buen diseño exige la seguridad de una combinación óptima de comportamiento, larga vida de servicio y un costo razonable”.

Debe analizarse de forma concreta y cuidadosa, tanto los factores técnicos como los económicos.

Las variables básicas de diseño del pozo son: el diámetro de la tubería, la profundidad del pozo, la longitud de la rejilla, la abertura de las ranuras de la rejilla o tubería y el filtro de grava.

7.6.1. Diámetro del pozo

El escoger el diámetro adecuado del pozo mecánico es fundamental, ya que de este depende la producción, así como el costo de la obra. El pozo puede o no tener el mismo diámetro desde la superficie hasta el fondo.

Según Johnson (1975), “el diámetro del pozo debe escogerse de modo que satisfaga lo siguiente:

- El ademe debe ser lo suficientemente amplio para que permita acomodar la bomba con la tolerancia adecuada, para su instalación y eficiente funcionamiento.

- El diámetro del intervalo de captación del pozo debe ser tal, que garantice una buena eficiencia hidráulica del mismo”.

7.6.2. Profundidad del pozo

Esta se determina usualmente con base en: el perfil obtenido de una perforación de prueba; de otros pozos cercanos en el mismo acuífero; o de la perforación del pozo mismo. Generalmente, los pozos se completan hasta el fondo del acuífero. Esto se hace por las siguientes razones:

- Cuanto mayor sea la penetración del pozo en el acuífero, mayor será la capacidad específica del mismo.
- Para lograr mayor depresión o abatimiento disponible.

Sin embargo, algunas veces el agua que se encuentra en las capas inferiores de los acuíferos es de mala calidad, por lo que en estos casos se procede a sellar estas zonas del acuífero, para lograr una mejor calidad. Otras veces, especialmente en los acuíferos artesianos, la rejilla es centrada en la formación de manera tal que su fondo no coincida con el fondo de la formación.

7.6.3. Longitud de rejilla

Debe escogerse con relación al espesor del acuífero, abatimiento disponible y estratificación de la formación. Según Johnson (1975), “las reglas pueden aplicarse a cuatro situaciones típicas:

- Acuífero artesiano homogéneo: en este tipo, deberá enrejillarse de un 70 a un 80 por ciento del espesor del material acuífero, suponiendo que el nivel de agua no descienda por debajo del techo de este.
- Acuífero artesiano heterogéneo: en este tipo de formación, la forma más adecuada es enrejillar el estrato más permeable.
- Acuífero freático homogéneo: tanto la teoría como la experiencia han demostrado que el enrejillar el tercio inferior del acuífero se obtiene el mejor diseño para ésta condición.
- Acuífero de nivel freático heterogéneo: los principios del diseño que se aplican en los acuíferos artesianos heterogéneos, se utilizan también en esta situación, a diferencia que los tramos de rejilla se ubican en las partes inferiores más permeables”.

7.6.4. Abertura de las ranuras de la rejilla o tubería

Las aberturas de las ranuras dependerán del caudal que se desee explotar, o bien del factor económico comercial.

7.6.5. Diámetro de la rejilla

Como lo demuestra la hidráulica de los pozos, el diámetro de un pozo tiene muy poco efecto en su producción, y por consiguiente en su capacidad específica. Cuando se habla de diámetro en el sentido hidráulico, se refiere al diámetro de la rejilla, y no al de la tubería del pozo, por cuanto es por la rejilla por donde entra el agua. Por lo tanto, si se duplica el diámetro de la rejilla, manteniéndose lo demás constante, lo único que se logra es aumentar la

capacidad específica del pozo en un 10 por ciento aproximadamente. Por consiguiente, el diámetro de la rejilla es escogido con fundamento en un principio básico; este es la velocidad de entrada del agua a través de las ranuras de la rejilla. Lo anterior supone, por supuesto, que la bomba será colocada sobre la porción del pozo que lleva la rejilla y que la pérdida de carga ocasionada por el flujo del agua hacia arriba dentro de la rejilla es muy pequeña (Mogg, 1963).

Las aberturas de las ranuras dependerán del caudal que se desee explotar, o bien del factor económico comercial.

7.7. Métodos de perforación

Los métodos de perforación se pueden dividir en:

- **Percusión:** este método se lleva a cabo mediante herramientas de cable. Consiste en levantar y dejar caer con regularidad un pesado grupo de herramientas dentro del agujero que se está abriendo. El barreno fractura la roca y la convierte en pequeños fragmentos. Cuando se está perforando en materiales suaves y no consolidados, la acción del vaivén de las herramientas entremezcla con agua las partículas formando un lodo. El agua para formarlo es agregada al agujero cuando no se encuentra presente en la formación que se está penetrando. El lodo debe ser retirado conforme se va acumulando mediante una bomba de arena o una cuchara, ya que retarda la velocidad de penetración.
- **Rotación:** este método consiste en hacer un agujero mediante la acción rotatoria de un trepano y remover los fragmentos que se producen con un fluido, que continuamente se hace circular conforme el trepano

penetra en los materiales de la formación. El trepano se coloca en la punta de un grupo de tubería. El lodo de perforación es bombeado a través de la tubería, expulsado por las boquillas de esta. De esta manera, el lodo fluye verticalmente hacia la superficie a través del espacio anular que se halla alrededor de la tubería.

- **Roto-percusión:** este método se define como la combinación de los métodos de percusión y el de rotación, el cual utiliza un martillo de fondo que tiene forma cilíndrica, terminando en un trépano sobre el que golpea un pistón accionado por aire comprimido. Para que este proceso se dé y que el pistón golpee sobre el trépano es necesario que el martillo esté en compresión, es decir, apoyado sobre el fondo y con un cierto peso encima. Al elevarse el martillo unos centímetros del fondo, el aire suministrado es empleado para el barrido de los fragmentos y limpieza del agujero.

7.8. Perfil estratigráfico según el muestreo de la perforación

El perfil estratigráfico de un pozo; no es más que la interpretación de las muestras de los estratos perforados, ordenados conforme la profundidad, con una disposición tal para que el analista (hidrogeólogo) de formaciones geológicas potenciales con carga hídrica pueda tomar decisiones sobre el acuífero en estudio.

7.9. Entubado

Una vez el pozo ha sido perforado, realizado su perfil litológico; entonces se procede al entubado. Los productos tubulares de acero se designan de varias maneras, tales como: tubos, conductos, tubería, cañería y ademe. La

tecnología empleada para describir el tamaño y otras características de estos productos tubulares, se ha incrementado conforme lo ha hecho la demanda y sus aplicaciones.

La tubería de acero más apropiada para los diversos objetivos relacionados con la perforación de pozos y su entubamiento, es la que se fabrica de acuerdo a las especificaciones de American Petroleum Institute (API), por lo general se prefiere la tubería sin costura y soldada eléctricamente. La tubería (de ademe) API se fabrica de la clase A y B; estas dos designaciones se prefieren a las resistencias del material, a la tensión y fluencia.

La tubería (de ademe) clase A, debe tener una resistencia a la tensión de 3 360 kilogramos por centímetro cuadrado, en tanto que la tubería de clase B debe tener una resistencia a la tensión de 4 200 kilogramos por centímetro cuadrado, cualquiera de estas dos tuberías puede ser empleadas satisfactoriamente para el entubamiento de pozos.

7.9.1. Utilización de rejillas diseñadas para la buena captación del agua, según perfil litológico y/o registro eléctrico

Una rejilla o filtro de pozo sirve como sección de captación de agua en un pozo, que toma agua de un acuífero de material no consolidado, tal como la arena. La rejilla permite que el agua fluya libremente hacia el pozo desde la formación saturada, evitando que la arena ingrese, y además actúa como un retenedor estructural que estabiliza la perforación del material no consolidado.

La rejilla, para llenar plenamente su cometido debe ser eficiente y estar bien diseñada para permitir que el agua pase libremente sin incrustaciones de arena hacia el pozo. El agua debe pasar a través de la rejilla en cantidades

abundantes y con un mínimo de pérdida de carga, solo de esta forma se considera una rejilla adecuada para la máxima captación de agua del acuífero y de su máximo aprovechamiento en cuanto a su recarga después de un lapso emergente de bombeo.

7.10. Filtro de grava ubicado fuera de la tubería con rejilla

El filtro de grava es una selección de pequeñas rocas y diversos aglomerados dispuestos adecuadamente y acondicionadas para evitar el ingreso de materiales finos o arenosos al pozo, que podrían dañar la bomba. El filtro de grava es instalado en el espacio anular del pozo (espacio entre la tubería y la pared de la formación).

7.11. Desarrollo y limpieza del pozo

Consiste básicamente en limpiar el pozo. Primero se coloca una máquina de limpieza en el pozo mecánico, en el lugar se procede a levantar la torre y a limpiar el pozo; esto se efectúa mediante un cable y una cubeta de limpieza.

7.12. Prueba de bombeo (aforo del pozo)

Después de todos los análisis realizados por la empresa de perforación es decir, la perforación misma el desarrollo y limpieza del pozo, se debe de tener una estimación del caudal real del pozo. Esto se logra al efectuar la prueba de bombeo o el aforo del pozo (Aguirre, 2007).

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Existe variación en los resultados de producción del pozo mecánico cuando incrementan o disminuyendo las variables de diseño.

9. CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. CONCEPTOS GENERALES

- 1.1. Agua subterránea
- 1.2. Acuífero
- 1.3. Recarga o alimentación de un acuífero
- 1.4. Superficie Freática
- 1.5. Pozo mecánico
- 1.6. Perfil estratigráfico
- 1.7. Entubado
- 1.8. Prueba de bombeo

2. UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

- 2.1. Ubicación general
- 2.2. Ubicación local
- 2.3. Delimitación del área de estudio

3. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO
 - 3.1. Identificación de estructuras geológicas
 - 3.2. Investigación de las condiciones hidrogeológicas

4. PROCESO DE PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN POZO MECÁNICO
 - 4.1. Perforación
 - 4.2. Entubado
 - 4.3. Limpieza y desarrollo
 - 4.4. Prueba de bombeo

5. EVALUACIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO
 - 5.1. Diámetro de la tubería
 - 5.2. Profundidad del pozo
 - 5.3. Longitud de rejilla o ranuras
 - 5.4. Abertura de rejilla o ranuras
 - 5.5. Caudal
 - 5.6. Cálculos de producción
 - 5.7. Análisis e interpretación de resultados

6. PROPUESTA DE DISEÑO DE POZOS MECÁNICOS
 - 6.1. Pozo en aluvión
 - 6.2. Pozo en rellenos piroclásticos
 - 6.3. Pozo en roca fracturada

7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE POZOS MECÁNICOS
 - 7.1. Perforación
 - 7.2. Tuberías y rejillas
 - 7.3. Filtro de grava

- 7.4. Sello sanitario
- 7.5. Brocal del pozo
- 7.6. Piezómetro para medición de caudales

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS CORRESPONDIENTES

10.1. Variables

VARIABLES A ANALIZAR:

- Caudal o producción: variable cuantitativa, medida en galones por minuto, litros por segundo o metro cúbico por segundo.
- Nivel dinámico: variable cuantitativa, medida en metros o pies.
- Diámetro del pozo: variable cuantitativa, medida en pulgadas o metros.
- Longitud de rejilla o tubería ranurada: variable cuantitativa, medida en pies o metros.
- Velocidad de entrada de agua a la rejilla: variable cuantitativa, medida en centímetros por segundo o metros por segundo.
- Área abierta de la tubería o rejilla. Variable cuantitativa, medida en centímetros cuadrados, pies cuadrado o metros cuadrados.

10.2. Descripción del estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo y, además correlaciona las variables del diseño que componen el pozo mecánico para conocer el comportamiento de la producción en relación a las variables. El estudio busca

determinar la importancia de las variables que componen el diseño del pozo mecánico, para poder lograr un diseño adecuado. El diseño es de tipo experimental debido a que manipula las variables para conocer los posibles resultados del diseño.

10.3. Fase 1

La fase 1 comprende la ubicación y delimitación del área de estudio.

- Delimitación del área de estudio con mapa geológico y topográfico Guatemala del Instituto Geográfico Nacional en escala 1:250 000.

10.4. Fase 2

La fase 2 comprende el trabajo de gabinete.

- Revisión bibliográfica exhaustiva de información referente al tema, como: información monográfica, tipo de geología, hidrogeología, especificaciones técnicas, propuestas de pozos mecánicos en libros textuales y propuestas de pozos mecánicos en estudios hidrogeológicos.
- Identificación y descripción de unidades hidrogeológicas en el área de estudio en mapa geológico de Guatemala 1:250 000.
- Revisión y análisis de propuestas de diseños de pozos mecánicos en libros textuales y en estudios ya realizados.
- Tabulación de variables del diseño del pozo mecánico.

- Realizar cálculos de producciones de pozos mecánicos mediante la variación de las distintas variables del diseño

10.5. Fase 3

La fase 3 comprende la elaboración y análisis de las correlaciones de la información.

- Revisión y análisis de cálculos para el diseño de pozos mecánicos
- Construcción de tablas y gráficas en Excel, mostrando la variación de resultados de las producciones y las variables del diseño
- Interpretación de resultados de cálculos realizados

10.6. Fase 4

La fase 4 comprende el diseño de pozos mecánicos

- Diseño de propuestas de pozos mecánicos
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones del presente estudio

10.7. Técnicas de análisis de información

La producción del pozo mecánico se determina a través de la ecuación de la continuidad.

$$Q = VA$$

Dónde:

Q = caudal

V = velocidad

A = área

Para determinar el área abierta del pozo mecánico, se calcula a partir de la abertura de las ranuras o rejillas y la longitud de tubería ranurada o rejilla.

Conforme la variación de las variables de diseño, se calcularán las producciones del pozo mecánico. A continuación se presenta la tabla I donde se analizan las variables.

Tabla I. **Tabla de variables**

\emptyset (plg)	Longitud de rejilla (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)

Fuente: elaboración propia.

A partir de los resultados se prosigue al análisis de correlación entre la producción y el área abierta, la producción y el diámetro, teniendo en cuenta la velocidad. El análisis se realizará por un modelo de correlación simple,

tabulando datos en Excel y generando las respectivas gráficas con líneas de tendencia.

10.8. Línea de investigación

El siguiente trabajo se desarrolla dentro del tema de las obras subterráneas, el cual forma parte de la hidrogeología.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación se muestra el cronograma de actividades para la realización del estudio.

12. RECURSOS NECESARIOS

- Físicos
 - Vehículo para recopilación de información bibliográfica
 - Viáticos
 - Cámara fotográfica
 - Computadora
 - Impresiones
 - Financieros
 - Viáticos Q. 5 500,00
 - Depreciación vehículo Q. 2 000,00
 - Cámara fotográfica Q. 100,00
 - Computadora Q. 500,00
 - Impresiones Q. 1 000,00
 - Honorarios asesor Q. 2 500,00
- Siendo un total de Q. 11 600,00

Tanto los recursos físicos como los financieros son proporcionados e invertidos por el autor de este trabajo de tesis.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE, Fredy. *Manual para las oficinas municipales de planificación - OMP- y corporaciones ediles para la toma de decisión de un pozo mecánico*. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 80 p.
2. AWWA. *Standard for deep wells*. Publicado en lengua española. New York, M.R Llamas, 1967. 150 p.
3. BOJANICH, Esteban. *Explotación de aguas subterráneas en la región llana occidental de la Argentina*. Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería, 1972. 35 p.
4. BRANTLY, J.E. *Rotary drilling handbook*. New York, 1961. 84 p.
5. BRAVO, Oliver. *Protección sanitaria de los pozos*. Barcelona, 1968. 25 p.
6. CUSTODIO, E y LLAMAS, M.R. *Hidrología subterránea*. Barcelona: Omega. 1983. 1 154 p.
7. DAVIS, Stanley y DE WEIST, Roger. *Hydrogeology*. New York, 1966. 25 p.
8. EMPAGUA-SOGREAH. *Estudio hidrogeológico en las calizas del norte*. Guatemala, 1990. 40 p.

9. GARCÍA, Jorge. *Uso actual de la explotación y posibilidad de explotar caudales adicionales. Agua subterránea en el valle de Guatemala.* Guatemala, 2008. 16 p.
10. Johnson Division. *El agua subterránea y los pozos.* Minnesota, 1975. 505 p.
11. MEINZER, O.E. *Hydrology.* McGraw-Hill Book. 1942. 128 p.
12. MIJAILOV, L. *Hidrogeología.* Rusia: Mir. Moscú. 1985. 3 p.
13. MOGG, J. *Diseños de pozos para agua.* Edward E. Johnson Inc. Minnesota, 1963.
14. MONTES, Juan. *Explotación de las aguas subterráneas.* [en línea] <http://jugimo.blogspot.com/2008/09/6-explotacin-de-las-aguas-subterrneas.html> [Consulta: 30 de septiembre de 2013]
15. MUÑOZ, Carlos. *Explotación de las aguas subterráneas en Guatemala.* Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. Guatemala. ERIS, 1986. 75 p
16. SAMAYOA, Fernando. *Importancia de una exploración previa a la perforación de un pozo mecánico para aprovechamiento de agua subterránea.* [en línea] <http://dahopozos.com/web/guest/28> [Consulta: 30 de enero de 2014]

17. Varios autores. *Ponencias del primer seminario de técnicas modernas para la construcción de pozos*. Servicio Geológico de Obras Públicas, Instituto Nacional de Colonización, Centro de Estudios, Investigación y Aplicaciones del Agua. Barcelona, 1968. 85 p.