

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Identificación de aspectos ambientales significativos del área de Perforación Profunda del Centro Servicio Recursos Geotérmicos del Instituto Costarricense de Electricidad, Guanacaste, Costa Rica”

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental

Wendy Porras Barquero

Cartago, Diciembre, 2015


TEC | Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental

Identificación de aspectos ambientales significativos del área de Perforación Profunda del Centro Servicio Recursos Geotérmicos del Instituto Costarricense de Electricidad, Guanacaste, Costa Rica

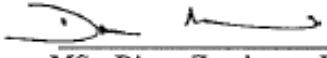
Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

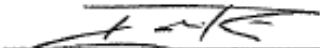
Miembros del tribunal



MSc. Teresa Salazar Rojas
Directora


Ing. David Hernández Parra
Lector 1


Lic. Huber Alonso Martínez Acuña
Lector 2


MSc. Diana Zambrano Piamba
Coordinadora COTRAFIG


PhD. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química


MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de los Ángeles, que han sido mi guía durante toda la vida, pero principalmente en estos seis años de estudio.

A mis padres y hermano, quienes han sido el pilar de mi vida y fuente de inspiración, a ellos les debo todo lo que soy como persona.

A mis abuelos, por siempre estar ahí para aconsejarme y darme un beso y abrazo cuando lo necesité para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que me tuvieron fe, confianza y paciencia, y me animaron siempre con sus consejos y apoyo.

A Ing. Hartman Guido Sequeira así como a todo el personal del Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos que de una u otra manera, me brindaron toda la información y la oportunidad de realizar y concluir este proyecto de la mano de ellos.

A mi profesora tutora MSc. Teresa Salazar Rojas por brindarme todo el conocimiento, por ser mi guía y apoyo desde el inicio hasta el final de este proyecto.

A la directora de la escuela de Ingeniería Ambiental MSc. Ana Lorena Arias, por ser esa fuente de motivación que necesitamos como estudiantes, por ser una mujer ejemplo en mi vida, por ayudarme y apoyarme siempre que la necesité.

A Ing. Johan Valerio Pérez del departamento de Gestión Ambiental y Salud Ocupacional del Centro Servicio Recursos Geotérmicos por su apoyo, confianza y recomendaciones realizadas.

Gracias también a mis compañeros y amigos, quienes me apoyaron durante mis años de formación universitaria y por supuesto, al Tecnológico de Costa Rica por abrirme las puertas del éxito.

Y por último pero ante todo a Dios y a la Virgen, que me han permitido llegar hasta acá y estar cerca de una meta más en mi vida.

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AA	Aspecto ambiental
AAS	Aspecto ambiental significativo
C.S.R.G.	Centro Servicio Recursos Geotérmicos
EA	Environmental aspects
EMS	Environmental Management System
EPA	Environmental Protection Agency
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IA	Impacto Ambiental
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IDW	Inverse Distance Weighting
ISO	International Organization for Standardization
LED	Light-Emitting Diode
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
ONU	Organización Naciones Unidas
PLC	Controlador lógico programable
SEA	Significant Environmental Aspects
SGA	Sistema de gestión ambiental

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	centímetro
CO ₂	dióxido de carbono
dB	decibeles
H ₂ S	Sulfuro de hidrógeno
mm	milímetro
m	metro
m ³	metro cúbico
l	litros
l/s	litros por segundo
km	kilometro
kg	kilogramos
ppm	partes por millón
psi	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
ton	tonelada
°C	grados celsius

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Comparación de profundidad, diámetros de agujeros y de tubería de las diferentes etapas de perforación de un pozo. Adaptado de Finger & Blankenship. (2010)	9
Cuadro 4.1. Aspectos e impactos ambientales del área de Perforación Profunda del C.S.R.G, Guanacaste (2015).....	25
Cuadro 4.2. Aspectos ambientales significativos de área de perforación profunda del C.S.R.G. del ICE, Guanacaste. (2015)	29
Cuadro 4.3. Comparación de efectos que causan los gases producto de la combustión del diésel. Adaptado de Huang Moachang (2001).....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Elementos básicos de un proyecto geotérmico. Adaptado de C.S.R.G. (2015)...	6
Figura 2.2. Organigrama del C.S.R.G. Tomado de C.S.R.G. (2015).	7
Figura 2.3. Distribución de plataforma de perforación. Tomado de C.S.R.G. (2015).	8
Figura 2.4. Orientación direccional de pozos. Tomado de Thorhallsson & Gunnlaugsson. (2012)	9
Figura 2.5. Proceso de cementación de pozo. Tomado de C.S.R.G. (2015)	10
Figura 2.6. Tanque de almacenamiento de mezcla de cemento. (2015)	10
Figura 2.7. Cabezal. Tomado de C.S.R.G. (2015).....	11
Figura 2.8. Mástil y equipo de perforación. Tomado de C.S.R.G. (2015).....	11
Figura 2.9. Barrena de perforación. Tomado de C.S.R.G. (2015).....	12
Figura 2.10. Sistema de circulación de lodos. Tomado de Hamid Fauzi & Wan Sulaiman. (2010)	13
Figura 2.11. Equipo de preventores. Tomado de Ngugi. (2008)	14
Figura 4.1. Fotografía de corta de sacos de cemento en el departamento de cementación del C.S.R.G. (2015).....	31
Figura 4.2. Fotografía en departamento de cementación sobre la generación de efluentes con cemento. (2015)	34
Figura 4.3. Mecanismo para aislar el ruido en la maquinaria de perforación. Tomado del Instituto Español de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2010)	38
Figura 4.4. Sello de identificación de maquinaria con bajas emisiones y control de ruido. (2015)	39
Figura 4.5. Filtración de los sólidos de la lechada de cemento. Tomado de la Environmental Protection Agency. (2015).....	40

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	1
Abstract	1
1. Introducción	3
1.1 <i>Objetivos</i>	4
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
2. Revisión de literatura	5
2.1 <i>Energía Geotérmica</i>	5
2.2. <i>Centro Servicio Recursos Geotérmicos</i>	6
2.3. <i>Descripción del proceso de perforacion</i>	7
2.4. <i>Impactos ambientales de la explotación geotérmica e importancia de identificar los aspectos ambientales</i>	14
2.5 <i>Métodos para identificación de AA y AAS</i>	16
3. Materiales y métodos	19
3.1. <i>Identificación de aspectos e impactos ambientales</i>	19
3.2. <i>Evaluación de los aspectos ambientales</i>	19
3.3. <i>Medidas de control de aspectos significativos</i>	21
4. Resultados y discusión	23
4.1. <i>Identificación de aspectos e impactos ambientales</i>	23
4.2. <i>Evaluación de significancia y cumplimiento de la legislación ambiental de aspectos ambientales del área de Perforación Profunda del C.S.R.G.</i>	29
4.2.1 <i>Consumo de agua</i>	30
4.2.2. <i>Generación de partículas en suspensión en el aire (cemento y esferilita)</i>	31
4.2.3. <i>Consumo y uso de diésel</i>	31
4.2.4. <i>Emisión de ruido</i>	32
4.2.5. <i>Generación de efluentes con cemento</i>	33
4.3. <i>Medidas de control para los aspectos ambientales significativos</i>	34
4.3.1. <i>Consumo de agua</i>	34
4.3.2. <i>Generación de partículas en suspensión en el aire (cemento y esferilita)</i>	35
4.3.3. <i>Consumo y uso de diésel</i>	36

4.3.4.	Emisión de ruido.....	38
4.3.5.	Generación de efluentes con cemento.....	39
5.	Conclusiones	41
6.	Recomendaciones	42
7.	Referencias	43
8.	Apéndices	46
	<i>Apéndice 1. Cuadros de criterios de significancia modificados para la evaluación de aspectos ambientales significativos</i>	<i>47</i>
	<i>Apéndice 2: Diagramas de los diferentes procesos de perforación profunda</i>	<i>48</i>
	<i>Apéndice 3: Evaluación de los aspectos ambientales de perforación profunda según la matriz de significancia modificada</i>	<i>58</i>
	<i>Apéndice 4: Evaluación de los aspectos ambientales de perforación profunda según la legislación ambiental.....</i>	<i>63</i>
	<i>Apéndice 5: Mapa de distribución de ruido en una plazoleta de perforación</i>	<i>74</i>
	<i>Apéndice 6. Registro de decibeles obtenido en los diferentes puntos de la plazoleta de perforación.....</i>	<i>75</i>
9.	Anexos	76
	<i>Anexo 1. Cuantificación aproximada de entradas y salidas de los procesos para la construcción de un pozo</i>	<i>77</i>
	<i>Anexo 2. Método de identificación y valoración de aspectos ambientales del C.S.R.G. código F01-GS-12.....</i>	<i>80</i>
	<i>Anexo 3. Leyes empleadas para la evaluación del cumplimiento legal de los aspectos ambientales en Costa Rica.....</i>	<i>84</i>
	<i>Anexo 4.. Equipo y maquinaria propuesta para la implementación de mejoras de los AAS.....</i>	<i>85</i>
	<i>Anexo 5. Equipo empleado en la metodología para elaborar el mapa de distribución de ruido.</i>	<i>89</i>

RESUMEN

Las actividades del área de perforación profunda del Centro Servicio Recursos Geotérmicos (C.S.R.G.), generan aspectos ambientales (AA), así como aspectos ambientales significativos (AAS). Estos a su vez pueden producir impactos negativos al ambiente y afectación de personas aledañas al proyecto; el desconocimiento de los mismos por parte de la empresa, fue la razón por la cual, mediante visitas al campo durante tres meses se investigó a detalle el funcionamiento de cada uno de los procesos de este departamento. Ese conocimiento adquirido posteriormente fue plasmado en la ejecución de diagramas de flujo y por medio de estos, se identificó 28 AA involucrados en las diferentes actividades. Posteriormente se realizó una evaluación de los mismos con la matriz de criterios de significancia y cumplimiento de la legislación, la cual dio como resultado la existencia de 5 AAS; consumo de agua, la generación de partículas en suspensión de polvo (cemento y esferilita), la generación de efluentes con cemento, el consumo y manejo de diésel y la emisión de ruido. Para cada uno de los AAS, se buscaron propuestas de medidas de control tecnológicas, factibles y eficientes con el fin de eliminar o minimizar su impacto ambiental (IA), las propuestas fueron respaldadas por el criterio del personal técnico de la empresa.

Palabras clave: CENTRO SERVICIO RECURSOS GEOTÉRMICOS, ENERGÍA GEOTÉRMICA, POZOS DE PERFORACIÓN, PERFORACIÓN PROFUNDA, ASPECTO AMBIENTAL, ASPECTO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO, IMPACTO AMBIENTAL.

ABSTRACT

The activities that allow the operation of the Deep Drilling Geothermal Resources Service Center Area inevitably generate; environmental aspects (EA), as well as, significant environmental aspects (SEA); which produce negative impacts on the environment and the people near the project. The lack of knowledge of these issues by the company, was the reason why field visits took place for three months, to know in detail how works each of the processes on that department. Subsequently, all the acquired knowledge was reflected in the execution of flowcharts and through these, easily they identified, 28 EA, that are relating to the activities of the different processes that deep drilling area has. Once identified the EA, an

evaluation was carried out, with a criteria significance matrix and an evaluation of legislation compliance matrix. It resulted in the existence of 5 SEAs; water consumption, the dust particles generation in suspension (cement and esferilita), cement effluent generation, the diesel consumption and its use and the noise emission. To eliminate or minimize the environmental impacts produced by the SEAs, that do not have control measures, the establishment of measures of technology, feasible and efficient control was proposed, these proposals are backed with the technical staff criteria, ensuring, it can be achieved efficiently the reduction of the environmental impacts generated by the company.

Keywords: DEEP DRILLING GEOTHERMAL RESOURCES SERVICE CENTER AREA, GEOTHERMAL, WELLS, DEEP DRILLING, ENVIRONMENTAL ASPECT, SIGNIFICANT ENVIRONMENTAL ASPECT, ENVIRONMENTAL IMPACT.

1. INTRODUCCIÓN

El C.S.R.G. del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), es la unidad encargada de llevar a cabo toda la logística y coordinación de los procesos necesarios para realizar la extracción del vapor interno de la tierra que genera energía eléctrica, así mismo ejecuta la exploración, explotación y desarrollo de los campos geotérmicos Miravalles y las Pailas que aportan cerca del 14% de la energía limpia del país (Fallas Saborío & Rodríguez Álvarez, 2010). El área encargada de la extracción de ese vapor y donde se lleva a cabo la ejecución de gran cantidad de actividades, es perforación profunda, como su nombre lo indica es el departamento encargado de realizar los pozos productores, reinyectores o de observación y es en esta área donde se desarrolló todo el estudio. La energía geotérmica al ser energía que se obtiene a partir de fuentes renovables, es considerada como energía limpia, sin embargo, esto no la exime de ser una actividad que posea AA que deben ser analizados, ya que se podrían estar generando impactos ambientales negativos significativos.

En la actualidad el área de perforación profunda es el departamento que más posibles impactos ambientales pudiese generar, debido a que es el área que posee mayor número de actividades involucradas con varios elementos ambientales a la vez. El desconocimiento de los AA, es lo que conlleva la realización e investigación de este trabajo, pues se podría estar generando un IA negativo que contribuya a la contaminación del ambiente, afectación a las personas aledañas al proyecto o incumplimiento de leyes ambientales vigentes en el país, esto podría provocar sanciones legales a la empresa así como muestra de falta de compromiso ambiental y social (Junfeng, 2004).

Para la identificación de los AA existen varios métodos, desde el estudio de investigaciones ambientales pasadas, realización y estudio de encuestas o entrevistas, visitas al campo donde el evaluador al observar las actividades realizadas identifica de manera sencilla los aspectos, así como la realización de diagramas de flujo con entradas y salidas de los materiales y residuos producidos, estos diagramas deben ser validados técnicamente por personal competente y analizados por el gestor ambiental. Esta última fue la técnica empleada para la identificación de aspectos, debido a que posee una mayor claridad y seguridad a la hora de clasificar los aspectos involucrados en cada una de las actividades. Para la identificación de AAS, generalmente se emplean matrices de evaluación con criterios de significancia como extensión, vulnerabilidad, severidad, frecuencia, intensidad y magnitud,

así como las evaluaciones del cumplimiento de la legislación ambiental vigente en el país, el método descrito fue el que se empleó para la identificación de los aspectos significativos de perforación profunda (Marttunen, Vienonen, Koivisto, & Ikäheimo, 2013). Una vez identificados los aspectos se realizó una investigación bibliográfica así como consultas a técnicos y profesionales del mismo C.S.R.G. acerca de las soluciones técnicas más eficientes, tecnológicas y factibles económicamente para la empresa, dichas propuestas permitirán controlar y disminuir los efectos negativos provocados al ambiente.

La realización de este trabajo permitió la identificación de los AAS del área de perforación profunda y basados en dicha identificación la institución pretende realizar planes, metas y objetivos ambientales de trabajo del departamento estudiado. Este trabajo además servirá de guía para la identificación de AAS en las demás áreas del C.S.R.G. con el fin de poder realizar un sistema de gestión ambiental (SGA). Esto le permitirá a la empresa ir en busca de la certificaciones de normas ambientales internacionales como de la International Organization for Standardization (ISO), específicamente la 14001, la cual exige la identificación de los AA y AAS como parte del cumplimiento de sus requisitos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Evaluar los aspectos ambientales encontrados en el área de perforación profunda del Centro Servicio Recursos Geotérmicos, para determinar su significancia.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar los aspectos e impactos ambientales involucrados en los principales procesos de perforación profunda.
- Formular cambios a la matriz de evaluación de la significancia de los aspectos ambientales del Centro Servicio Recursos Geotérmicos que permitan una mejor identificación de los AAS.
- Recomendar medidas de control eficientes y tecnológicas que permitan mejorar y controlar los aspectos ambientales significativos del área de perforación profunda del Centro de Servicios de Recursos Geotérmicos del ICE.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA

El calor es una forma de energía y la energía geotérmica es, el calor contenido dentro de la tierra, la presencia de volcanes, fuentes calientes o géiseres, provocan que a grandes profundidades haya temperaturas de hasta 600°C, temperaturas que calientan las capas de roca y tierra, así como los depósitos subterráneos de agua. Este calor se irradia desde el interior hasta la superficie, calentando las capas superiores, convirtiéndose en el motor de incontables procesos geológicos (M. H. Dickson & Fanelli, 2006).

El medio empleado para extraer ese calor de la tierra y utilizarlo comercialmente, consiste en la explotación de un reservorio geotérmico. Y para ubicar dichos reservorios, se recurre a modernas técnicas de exploración como la geológica, geofísica, geoquímica. Estas técnicas ayudan a determinar cuáles serán los campos geotérmicos en donde se perforarán en forma exitosa los pozos de producción, que alcanzan desde algunos centenares de metros hasta 1 o 3 kilómetros de profundidad (Livesay, 2006).

Un reservorio geotérmico, como lo muestra la Figura 2.1, debe contar con cinco elementos básicos (Guido Sequeira, 2002):

1. La existencia de una fuente de calor, generalmente de origen magmática.
2. Un área de recarga que restablezca las pérdidas de fluido, generalmente un pozo reinyector.
3. Una capa de roca permeable, en el cual se encuentra almacenado el fluido geotérmico ya sea agua, vapor o una mezcla de ambos.
4. Una capa de roca impermeable conocida como capa sello.
5. Un basamento impermeable.

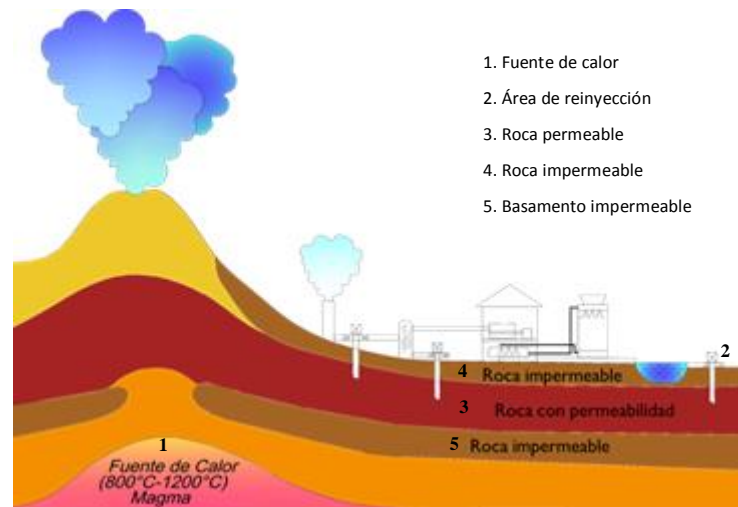


Figura 0.1. Elementos básicos de un proyecto geotérmico. Adaptado de C.S.R.G. (2015).

2.2.CENTRO SERVICIO RECURSOS GEOTÉRMICOS

La historia de la producción de electricidad a partir de la geotermia por parte del ICE, se origina en 1975, donde por primera vez se comenzó a investigar y recaudar información en los alrededores del volcán Miravalles, específicamente en los terrenos donde se ubican los distritos de La Fortuna y Mogote. Esos estudios, dieron origen en 1978 al descubrimiento del primer campo geotérmico industrialmente explotable del país. En la actualidad hay instaladas seis plantas geotérmicas, que en conjunto, han producido como promedio, a lo largo de esta primera década del siglo XXI, el 14% de la totalidad de la energía eléctrica que se consume en Costa Rica (Fallas Saborío & Rodríguez Álvarez, 2010).

El C.S.R.G. es una unidad negocio del ICE, posee la misión de explorar, desarrollar y explotar campos geotérmicos, para suministrar vapor y servicios con tecnologías, planeamiento, organización y controles adecuados en armonía con el medio ambiente. Está formada, por seis grandes áreas (ver Figura 2.2), gestión empresarial y administrativa, gestión financiera, recursos humanos, perforación profunda, geociencias y suministros de vapor, todas esas áreas se encargan de la logística administrativa y técnica para el correcto funcionamiento de la extracción de la energía en forma de vapor del interior de la tierra (Comité Ambiental del Centro Servicio y Recursos Geotérmicos, 2014).

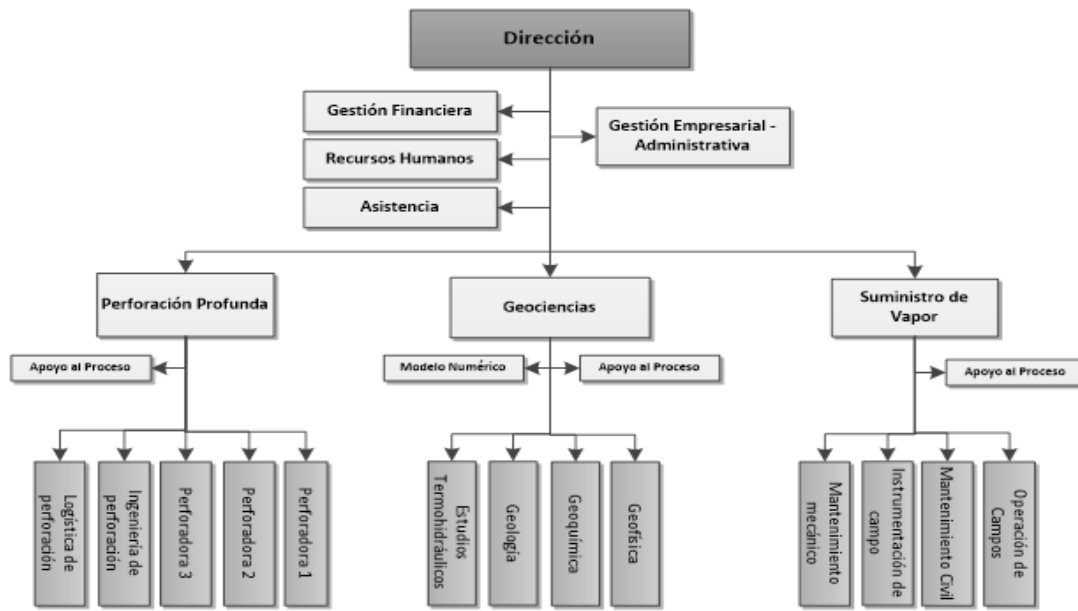


Figura 0.2. Organigrama del C.S.R.G. Tomado de C.S.R.G. (2015).

Actualmente el C.S.R.G. opera el Campo Geotérmico Miravalles, ubicado en la Fortuna de Bagaces, el Campo Geotérmico Las Pailas, que se encuentra en fase constructiva y se ubica en Curubandé de Liberia y Campo Geotérmico Borinquen ubicado en Cañas Dulces en Liberia, donde ya ha finalizado la fase exploratoria (Comité Ambiental del Centro Servicio y Recursos Geotérmicos, 2014).

2.3.DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PERFORACION

El área de perforación profunda del C.S.R.G. se encarga de realizar los pozos, hay pozos productores utilizados para extraer los fluidos del reservorio, pozos inyectores para reintegrar los fluidos al reservorio después de utilizar su potencial de generación eléctrica y pozos observadores utilizados para monitorear parámetros térmicos e hidráulicos del yacimiento geotérmico (Guido Sequeira, 2002).

Dentro de los campos geotérmicos se construyen las plataformas de perforación, que como su nombre lo indica es el área específica donde se realiza la perforación de los pozos, una plataforma posee aproximadamente una dimensión de 96 por 102 metros (Mora, 2015), donde primeramente el departamento de obra civil debe remover toda la capa de cobertura vegetal, una vez lista, perforación profunda realiza el contrapozo, estructura de cemento que

se construye en el subsuelo para preparar el sitio donde se hará el agujero, esta infraestructura facilita la instalación de la máquina perforadora y los preventores (Elvira Quesada, 2015). Además, en la plataforma se ubica el tanque de almacenamiento del diésel, las casetas de generación de energía eléctrica, las bodegas de almacenamiento de materiales, las edificaciones móviles donde se encuentra el personal técnico como ingenieros, geólogos, técnicos de lodos y los talleres de soldadura, eléctrico y mecánico que son encargados de darle el mantenimiento a la maquinaria y la máquina perforadora; también cerca de la plazoleta están las lagunas de agua limpia, lagunas de cortados (lagunas con restos de las rocas que se están perforando en el interior del pozo, junto con los residuos de lodos de perforación) y lagunas de aguas geotérmicas (ver Figura 2.3) (Valerio Pérez, 2015).



Figura 0.3. Distribución de plataforma de perforación. Tomado de C.S.R.G. (2015).

En la actualidad la técnica empleada para perforar los pozos, es perforación rotativa, como su nombre lo indica, aprovecha el efecto de la rotación para cortar la roca. Existen pozos rectos o verticales y pozos direccionales (ver Figura 2.4), estos últimos actualmente son los más utilizados ya que permiten un mejor uso del terreno al realizar hasta cuatro contrapozos en una misma plataforma, aumenta la eficiencia y probabilidad de interceptar fallas verticales, así como, interceptar fallas en lugares donde se hace imposible construir plataforma (Thorhallsson & Gunnlaugsson, 2012).

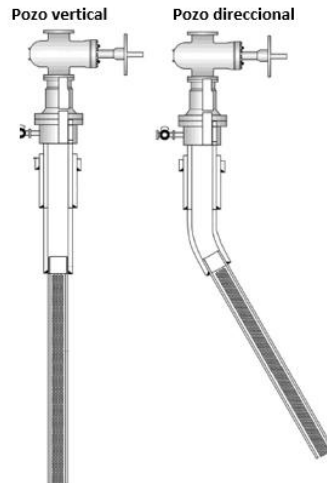


Figura 0.4. Orientación direccional de pozos. Tomado de Thorhallsson & Gunnlaugsson. (2012)

Los pozos geotérmicos son un sistema telescópico, es decir, una sucesión de agujeros en decrecimiento de diámetro a medida que aumenta la profundidad. La perforación de un pozo geotérmico se hace normalmente en cuatro etapas con diferentes diámetros de agujero y de tubería de revestimiento como se observa en el Cuadro 2.1 (Finger & Blankenship, 2010).

Cuadro 0.1 Comparación de profundidad, diámetros de agujeros y de tubería de las diferentes etapas de perforación de un pozo. Adaptado de Finger & Blankenship. (2010)

Etapa	Profundidad máxima aproximada (m)	Diámetros de agujero (mm)	Diámetro de tubería (mm)
I	200-300	609	473
II	650-1000	444	340
III	1500-1800	311	244
IV	2000-2400	216	194

El material de la tubería es acero, generalmente en la primeras tres etapas se utiliza tubería de revestimiento y en última tubería ranurada que permita el ingreso del vapor. La tubería de revestimiento se debe cementar, para esto se inyecta una mezcla de cemento desde arriba por el interior de la tubería, desplazándose hasta abajo para lograr rellenar el espacio entre la tubería y la pared del agujero, como se observa en la Figura 2.5, lo mismo sucede con las demás etapas (Finger & Blankenship, 2010). La mezcla de cemento se realiza en seco y consiste en la adición de cemento tipo A, cemento tipo G, esferilita y una serie de aditivos que se le agregan dependiendo de la consistencia y características que se requieran, posteriormente se almacena en cilindros (ver Figura 2.6) que son llevados hasta la plataforma

de perforación donde se le añade el agua hasta lograr la consistencia adecuada e iniciar el proceso de cementación (Alvarado Silesky, 2015).

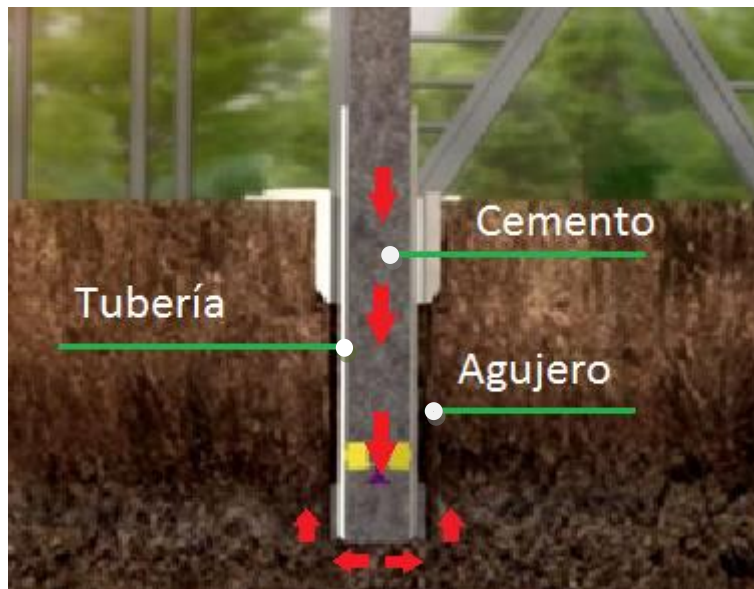


Figura 0.5. Proceso de cementación de pozo. Tomado de C.S.R.G. (2015)



Figura 0.6. Tanque de almacenamiento de mezcla de cemento. (2015)

Finalmente terminadas las cuatro etapas, al pozo se le pone una válvula maestra en el extremo superior de la tubería de producción, con el fin de controlar su futura operación, se instala con otras válvulas y arreglos mecánicos, que por su forma en conjunto se le suele llamar cabezal, como se muestra en la Figura 2.7 (Brommer, 2008)



Figura 0.7. Cabezal. Tomado de C.S.R.G. (2015)

Otros equipos de perforación son el mástil, contiene un sistema de poleas para colocar y retirar la tubería de perforación, permite tener acceso a las tuberías para su revisión y unir las antes de bajarlas por el pozo, hay una plataforma que permite almacenar la tubería, la mesa rotaria que le brinda el movimiento rotacional a la tubería y la barrena así como, un sistema de circulación para preparar, bombear, enfriar, cribar, asentar y almacenar el lodo de perforación. (ver Figura 2.8) (Ruda & Bosscher, 2005).



Figura 0.8. Mástil y equipo de perforación. Tomado de C.S.R.G. (2015)

La barrena es la herramienta que va cortando la roca terreno hacia abajo, es una broca de 3 conos dentados, como se muestra en la Figura 2.9; que además de girar en conjunto, pueden

hacerlo sobre su propio eje. El material es acero de la más alta dureza, a veces con insertos de carburo tungsteno para resistir la abrasividad (Ngugi, 2008).



Figura 0.9. Barrena de perforación. Tomado de C.S.R.G. (2015).

El conjunto completo de la barrena es hecho rotar a través de una sarta de perforación por motores de alta potencia que están en superficie en el equipo de perforación. Esta sarta es una sucesión enroscada de tubos de acero, de diámetros desde 194 mm y con unos 9,5 m de largo cada uno, que se van adicionando a medida que el fondo del agujero cobra profundidad (Ruda & Bosscher, 2005).

Ni la sarta, ni la barrena, son completamente sólidas. Por su interior se hace circular, mediante otro conjunto de bombas de alta potencia, el fluido de perforación o también llamado, lodos de perforación (Hamid Fauzi & Wan Sulaiman, 2010). Los componentes de un sistema de circulación de fluidos incluyen:

- Bombas de lodo: imparten potencia al fluido en forma de presión y volumen, esto para mover el fluido del tanque de lodos al agujero de perforación, la potencia hidráulica se transmite por propulsión.
- La manguera, cabeza de inyección y sistema retorno de lodo: conforman el conducto de la bomba a la línea del pozo y debe ser capaz de manejar grandes volúmenes de lodo a presión alta, pero sin sufrir demasiada caída de presión
- La línea de retorno de lodo: proviene de la cabeza del pozo permitiendo el flujo por gravedad hacia las zarandas vibratorias, generalmente tiene un diámetro de 25,4 mm.

Las zarandas vibratorias; criban el fluido retornado del pozo, cargado con recortes con el objetivo limpiar el lodo, el resultado del cribado va a la laguna de cortados y el lodo cribado fluye hacia el tanque sedimentador, posteriormente a una torre de enfriamiento si se requiere bajar la temperatura, para ser acondicionado y reutilizado posteriormente, como se muestra en la Figura 2.10 (Volpi, 2009).

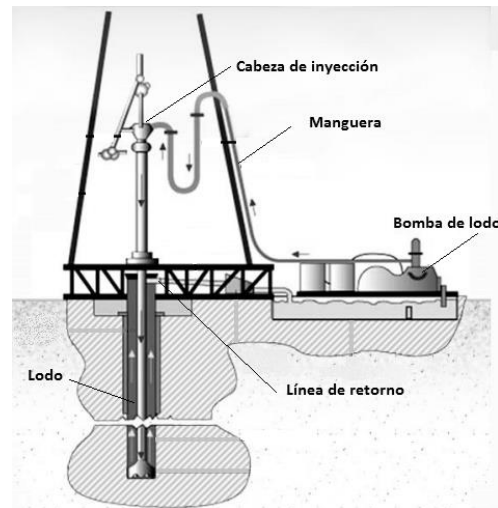


Figura 0.10. Sistema de circulación de lodos. Tomado de Hamid Fauzi & Wan Sulaiman. (2010)

El fluido de perforación está compuesto por una serie de aditivos como Aquagel, bicarbonato de sodio, New drill, All temp, N-Seal, Max-Guard entre otros dependiendo de la consistencia que se requiera, sin embargo, su componente principal es la bentonita. Dentro de las funciones más importantes que posee el fluido están (Ngugi, 2008):

- Remover los recortes del fondo del pozo (cortados) y los trae a la superficie.
- Enfría y lubrica la barrena y tubería de perforación.
- Controla la presión subterránea.
- Estabiliza el agujero perforado.
- Previene pérdidas excesivas del fluido de perforación.
- Mantiene en suspensión los recortes cuando se suspende la perforación.
- Transmite potencia hidráulica a la barrena.
- Limita la corrosión del equipo de perforación.
- Minimiza efectos adversos en formaciones productivas.

- Dan flotabilidad a la sarta de perforación.

Existe también un sistema de control de pozo, para emergencias por emanación de fluidos internos del pozo o descontrol durante la perforación, consiste en dos dispositivos de seguridad, llamados preventores (ver Figura 2.11). Están los de doble compuerta o martinete, los cuales pueden cerrarse casi instantáneamente ya sea en forma manual o por medio de un sistema hidráulico y el de las compuertas con empujadores semicirculares de caucho que se ajustan con toda precisión en torno a la tubería de perforación, de manera que se selle el espacio anular circundante, estos son llamados preventores anulares (Hamid Fauzi & Wan Sulaiman, 2010).



Figura 0.11. Equipo de preventores. Tomado de Ngugi. (2008)

En el caso de que haya pérdidas totales o fugas de lodo debido a las fracturas internas del suelo, se recurre a la perforación aireada, donde se emplean diferentes tipos de compresores que introducen una mezcla de agua y aire a alta presión, la mezcla sustituye el lodo de perforación y permite que se pueda seguir perforando (Tolman, 1979).

2.4. IMPACTOS AMBIENTALES DE LA EXPLOTACIÓN GEOTÉRMICA E IMPORTANCIA DE IDENTIFICAR LOS ASPECTOS AMBIENTALES

Existe la creencia generalizada de que los yacimientos geotérmicos representan una fuente energética no contaminante, no obstante, se han planteado algunas dudas con relación a este señalamiento y se le han identificado posibles impactos que se puedan generar. Un estudio realizado por Li Junfeng, en el 2004 Tianjin en China, evaluó el impacto ambiental

del desarrollo geotérmico, el estudio determinó que el desarrollo de la energía geotérmica tiene algunos impactos ambientales, la mayoría de los cuales son asociados a la explotación de los sistemas geotérmicos de alta temperatura. Entre ellos están las alteraciones superficiales del suelo, efectos físicos debido a la extracción de fluido, contaminación sónica, degradación del suelo, consumo y escasez de agua, contaminación del aire debido a las emisiones de sustancias químicas, tanto las emisiones de gases así como líquidos de descarga, efectos sociales y económicas sobre las comunidades afectadas.

Otros de los impactos provocados por la explotación geotérmica según un estudio realizado en Islandia es la destrucción de los bosques y la erosión del suelo, la emisión de altos niveles de ruido, uso de potentes lámparas para iluminar el lugar de trabajo durante las noches debido a la perforación nocturna, esto puede molestar los residentes locales, los animales domésticos y salvajes, se puede dar la contaminación de las aguas subterráneas por la presencia de fluidos de perforación, además la perforación también crea humos y polvo que pueden perturbar los animales y los seres humanos que viven cerca (Maochang, 2001).

En general, los sistemas geotérmicos se encuentran a menudo en ambientes volcánicos, donde el terreno es escarpado y difícil acceso, una plataforma de perforación ocupa alrededor de una hectárea, la cual debe ser despejada de vegetación y compactada, la exposición de la zona creará un peligro importante erosión. Un equipo de perforación se ve de lejos durante perforación y puede considerarse como la contaminación visual, además sino se realiza un retiro de la maquinaria planificado se tendrá por el contrario una retirada descuidada y desorganizada que puede causar una mayor pérdida de hábitat (Kagel, Bates, & Gawell, 2007).

Sin embargo, la ejecución de proyectos geotérmicos es de suma importancia para la producción de electricidad del país, por lo que identificar los AA así como los AAS para controlar el IA que pudiesen provocar, es beneficioso para el avance de la región, debido a que se contribuye con desarrollo sostenible, el cual en 1987 según la Organización de Naciones Unidas (ONU), establece que es el desarrollo capaz de satisfacer las necesidades actuales, sin necesidad de comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones. Implementar un SGA basado en el desarrollo sostenible, que incluya el compromiso de buscar soluciones, realizar planes de trabajo y cumplir objetivos y metas

ambientales que permitan minimizar o eliminar el IA que producen los AAS identificados, es de suma importancia, pues un SGA al ser parte del sistema de gestión de una organización, permite que la empresa implemente una política ambiental que permita gestionar los AAS de manera que no afecten negativamente el ambiente. Un sistema eficiente requiere contar con instrumentos y técnicas ambientales que permitan conocer, evaluar, controlar de manera oportuna y participativa los AAS, así como los problemas de IA que se puedan generar (Organización Internacional de Normalización, 2004).

2.5 MÉTODOS PARA IDENTIFICACIÓN DE AA Y AAS

Para la identificación de los AA y AAS, se emplean varias herramientas con el fin de poder identificar y controlar los aspectos que pudiesen generar un impacto negativo al ambiente, dentro de las técnicas que se emplean están la realización e interpretación de encuestas, análisis de estudios ambientales previos, ejecución de diagramas de flujo con entradas y salidas entre otras. Este último método facilita la identificación de los AA y posibles impactos generados al ambiente, debido a la simplicidad con la que muestra visualmente un proceso o actividad específica, pudiendo así identificar los AA involucrados en el proceso con mayor facilidad. Los diagramas utilizan símbolos que representan una operación específica con la que se pretende explicar el funcionamiento de algún procedimiento o etapa del proceso, se conectan por medio de flechas para indicar la secuencia de la operación y los símbolos empleados están sometidos a una normalización para que cualquier persona pueda entender la idea de lo que se quiere plasmar (López Flores, Parker Vega, & Romero Hernández, 2006).

Para determinar si los aspectos identificados son significativos o no, generalmente se deben definir criterios ambientales de evaluación, estos criterios deberán ser generales, independientes y reproducibles, algunas compañías toman en cuenta criterios como el potencial que posee el aspecto para causar un daño ambiental, la fragilidad del medio ambiente, la amplitud y frecuencia del aspecto, importancia de partes interesadas y empleados de la organización, la existencia de una normativa ambiental aplicable y los requisitos de la misma, así como también la existencia de denuncias o reclamaciones por parte de los ciudadanos e incidencia en la identidad cultural e histórica de la región (López Flores et al., 2006).

Los criterios que defina la organización, pueden tratarse como preguntas cuyas respuestas pueden ser “sí” o “no” o pueden servir de manera más diferenciada para evaluar la significación de los elementos ambientales de la organización, con una clasificación en “alto”, “medio” o “bajo” o “muy importante”, “menos importante” y “sin importancia” o una clasificación alusiva a cada criterio definido, a esto es lo que se le denomina escala de significancia. Estas evaluaciones generalmente se realizan por medio de matrices, ya que es una manera práctica y ordenada de presentar resultados, al final de la evaluación la suma de las calificaciones obtenidas con los criterios es lo que determinará si el AA es significativo o no (López Flores et al., 2006).

Los criterios de significancia que con mayor frecuencia se utilizan en los estudios, son la pérdida de control o vulnerabilidad, donde se valora con una calificación baja los AA que están sometidos a un control o monitoreo ambiental muy bajo, es decir, existen pocas acciones de control por parte de la empresa, y con alta puntuación los que posee medidas de control y monitoreo adecuados, otro criterio es la frecuencia de aparición, se analiza en función de la frecuencia en que aparece el aspecto, otorgando puntuaciones bajas a los aspectos que se manifiestan en raras ocasiones (una o ninguna vez al año) y alta en aspectos que aparecen diariamente. La severidad o gravedad de las consecuencias, generalmente está en función de la gravedad y extensión del AA, considerando una calificación baja para los aspectos con un impacto muy limitado y puntual y alta en casos de un daño extenso y grave o intenso. Otro criterio es la importancia para las partes interesadas, donde se estima con una baja puntuación si el aspecto tiene muy poca importancia para las partes interesadas y viceversa (Marttunen et al., 2013).

Existen infinidad de criterios de significancia, sin embargo, uno de los más importantes que se debe tomar en cuenta en las evaluaciones de AA, es cumplimiento de la legislación ambiental vigente en el país, en la mayoría de los casos la hace personal calificado o el gestor ambiental con asesoría técnica, es decir, personas con conocimiento en leyes ambientales de Costa Rica, la persona o empresa, debe contar una base actualizada de las leyes, convenios, normativas, decretos que aplican a los AA encontrados, se analiza cada uno de los documentos (artículos aplicables al AA) y se determina si hay un cumplimiento o no por parte de la empresa, el incumplimiento generará un AAS (Guido Sequeira, 2002).

Para realizar la identificación de los AA la organización debe examinar las condiciones de iniciales y finales del proyecto, así como incluir las condiciones de emergencia razonablemente previsibles, se tendrán en cuenta también las actividades anteriores, actuales y previstas, una vez finalizada la evaluación, es decir con los AAS identificados, la empresa, según lo establece la Environmental Management System (EMS) (2002:14) basará su SGA en controlar los AAS para evitar impactos ambientales negativos, para esto deberá implementar objetivos, metas y planes de trabajo ambiental, así como medidas de control tecnológicas y eficientes que minimicen o eliminen el IA provocado.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES

Se definió el área de perforación profunda del C.S.R.G. del ICE en Guayabo de Bagaces, Guanacaste, como el sitio donde se identificarían los AA y AAS. Posteriormente, se realizaron visitas periódicas (cada semana), a las plataformas de perforación (ubicadas en Miravalles y Las Pailas), al área de aireación y cementación de pozos durante tres meses, para definir y conocer el funcionamiento de los procesos que se realizan en cada área.

Definidos los procesos se realizó una cuantificación aproximada de la cantidad de materiales necesarios para la perforación de un pozo de producción de 4 etapas de aproximadamente 2400 metros de profundidad, esta información se solicitó al departamento de Apoyo Administrativo al Proceso de Perforación, también se cuantificó aproximadamente la cantidad de residuos generados en las mismas actividades, se solicitó los registros al departamento Gestión Ambiental. Los registros toman en cuenta a las tres máquinas perforadoras la Cardwell KB-700, la ZPEC KL 5100-1000 HP y la National Oilwel 110-M.

La cantidad requerida de material depende de las situaciones particulares que se presenten así como de las condiciones del terreno que se está perforando (topografía, temperatura, humedad, presión entre otras), por lo que son valores aproximados, ya que los ingenieros toman decisiones sobre la cantidad de compuestos, químicos y materiales a usar según las circunstancias que se presentan en el día a día, es por eso que no existen cantidades exactas de materiales y residuos generados para la construcción de un pozo, ya que siempre hay condiciones y situaciones diferentes.

Luego se realizaron diagramas de flujo con entradas y salidas de cada uno de los procesos de perforación profunda con ayuda del programa de Microsoft Visio 2013, los cuales fueron aprobados técnicamente por personal profesional a cargo de cada proceso y finalmente, basado en el diagrama de flujo, se identificaron los AA así como los posibles impactos relacionados con las actividades que realiza el área de perforación profunda.

3.2. EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES

La evaluación de la significancia de los AA se basó en dos parámetros; para el primero se utilizó un documento llamado “*Formato Identificación y Valoración de Aspectos*

Ambientales” que posee el C.S.R.G, el cual es una plantilla del programa de Excel de Microsoft Office que contiene una matriz de evaluación significancia a la cual se hace referencia en el Manual “*Identificación y Valoración de Aspectos Ambientales*” con código *F01-GS-12* (ver Anexo 1), sin embargo a dicha matriz se le realizaron varias modificaciones debido a que así lo solicitó la empresa. Se cambió el criterio cantidad absoluta por el de intensidad y al criterio de extensión se le cambió las opciones de significancia, los criterios de frecuencia y vulnerabilidad no variaron.

El funcionamiento de la matriz modificada es el mismo al de la original, consiste en evaluar cada aspecto ambiental con base a 4 criterios, en este caso serán:

- Extensión
- Intensidad
- Vulnerabilidad
- Frecuencia

Cada uno de estos criterios se dividen en varias opciones, cada opción posee un puntaje asignado, se deberá elegir la opción que mejor se ajuste al aspecto que se está evaluando, las opciones que posee cada criterio se muestran en los Cuadros A.1.1 y A.1.2 del Apéndice 1 y los Cuadros B.2.3 y B.2.4 del Anexo 2 respectivamente.

Según sea la opción que se elija de cada criterio así será el puntaje que lo represente, estos puntajes serán empleados para calcular la severidad y la magnitud de cada aspecto. La severidad se calcula con la Ecuación 3.2.1 y la magnitud se modificó levemente de la Ecuación 3.2.2, al cambiar el criterio cantidad absoluta por intensidad como se muestra en la Ecuación 3.2.3:

$$\text{Severidad} = \text{Extensión} \times \text{Vulnerabilidad} \dots \text{Ecuación 3.2.1}$$

$$\text{Magnitud} = \text{Frecuencia} \times \text{Cantidad Absoluta} \dots \text{Ecuación 3.2.2}$$

$$\text{Magnitud} = \text{Frecuencia} \times \text{Intensidad} \dots \text{Ecuación 3.2.3}$$

Los resultados de estas ecuaciones dan a conocer la significancia de la severidad y magnitud de cada AA. El valor obtenido con la Ecuación 3.2.1 se busca en la columna 1 del Cuadro B.2.6 del Anexo 2, la significancia de la severidad estará al lado de ese valor, en la columna 2. Con el resultado de la Ecuación 3.2.3, se busca en la columna 3 del mismo cuadro y la significancia de la magnitud estará al lado de ese valor, en la columna 4.

Establecida la significancia de la severidad y magnitud del AA, se debe recurrir al Cuadro B.2.7 del Anexo 2, para conocer su nivel de significancia acumulada, para esto, en la parte inferior de dicho cuadro se debe buscar la significancia obtenida por la severidad y al lado izquierdo la significancia de la magnitud, justo donde intersequen los criterios es el nivel la significancia acumulada del AA. El resultado obtenido se busca en la columna 1 Cuadro B.2.8 del Anexo 2 y la columna 2 indicará si el AA es alto (significativo), moderado o bajo y en la columna 3 el color que lo representa, rojo, amarillo y verde respectivamente.

El segundo parámetro a evaluar fue el del cumplimiento de la legislación ambiental vigente en Costa Rica, para esto se revisó y analizó una serie de leyes ambientales aplicables (ver Anexo 3) que se obtuvieron de la plataforma virtual de la empresa Enlace, la cual posee un convenio con el ICE para dar asesoría en derecho ambiental, el funcionamiento de la plataforma virtual de la empresa consiste en seleccionar el tipo de energía que se evalúa, es este caso, energía geotérmica, posteriormente el sistema despliega una pantalla con una lista de elementos ambientales aplicables (suelo, aire, agua, salud ocupacional, entre otros), el evaluador elige el elemento que se ajuste al AA que se evalúa. Luego se despliega una lista de leyes que le aplican a cada AA, al seleccionar una ley, el sistema muestra los artículos aplicables que debe cumplir, se debe evaluar si existe un incumplimiento del artículo o por el contrario hay un cumplimiento. Este análisis se realizó con todos los AA identificados y con las leyes del Anexo 3, donde el incumplimiento de algún artículo, indica la presencia de un aspecto ambiental significativo (Organización Internacional de Normalización, 2004).

3.3.MEDIDAS DE CONTROL DE ASPECTOS SIGNIFICATIVOS

Se realizó una revisión bibliográfica, en busca de soluciones tecnológicas y eficientes a los AAS de la organización. Además se realizaron visitas a los diferentes departamentos de especialistas del C.S.R.G. involucrados en el área donde se identificó un AAS, esto con el fin de contar con el conocimiento técnico y asesoría para la propuesta de medidas de mejora.

Para la propuesta de mejoras de la emisión de ruido, se realizó una línea base, que permita conocer la condición inicial de la distribución del ruido en una plataforma de perforación, así como localizar los puntos o fuentes que generan más ruido dentro de área

analizada, por medio de la elaboración de un mapa que muestra dispersión del ruido. Para esto se tomaron las coordenadas de varios puntos dentro de la plazoleta de perforación, la medición se realizó con el sistema de posicionamiento global (GPS) Trimble Juno 3b (ver Figura B.4.1 del Anexo 4) y cuenta con una alta precisión de aproximadamente ± 5 m según las especificaciones técnicas del equipo. También se levantó un registro de mediciones de decibeles en los puntos tomados con el GPS, basados en los requisitos del Decreto N° 32692-S “*Procedimiento para la Medición de Ruido*” y con ayuda de un sonómetro marca norteamericana Quest Technologic modelo SOUNDPRO SE/DL (ver Figura B.4.2 del Anexo 4). Posteriormente con datos obtenidos y con ayuda del programa ArcGIS 10.2 y con la aplicación ArcMAP™, se realizó una interpolación espacial de datos en el mapa, debido al alto costo y cantidad de tiempo que se requiere para tomar todos los puntos dentro de una plazoleta, el método empleado para la interpolación fue el Inverse Distance Weighting (IDW) o distancia inversa ponderada, ya que es uno de los métodos más empleados y se ajusta mejor a la distribución, pues hay un alto distanciamiento entre los puntos y la base de datos es pequeña. Este modelo hace que los puntos de muestreo se ponderen durante la interpolación de tal manera que la influencia de un punto en relación con otros disminuye con la distancia desde el punto desconocido que se desea crear (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES

Los procesos de perforación profunda en los que se enfocó el estudio fueron; Perforación del Pozo, I Etapa, II Etapa, III Etapa, IV Etapa, Fluidos de perforación, Cementación, Perforación aireada, Presurización del pozo y Distribución de la Energía.

Estos procesos son los más significativos del área de perforación profunda (Silesky Alvarado, 2015), ya que son los procesos claves para poder extraer el vapor interno de la tierra, además son las áreas que requieren la mayor cantidad de materia prima como se puede observar en el Cuadro A.1.1 del Anexo 1, así como las que generan la mayor cantidad de residuos como se muestra en el Cuadro A.1.2 del mismo anexo.

En el Apéndice 2 se muestra los diagramas realizados para cada uno de los procesos de perforación profunda definidos anteriormente, los cuales tal como lo indica la Environmental Management System (2002:5), permitieron identificar de una manera más sencilla los aspectos ambientales de la empresa, además de ilustrar y comprender el funcionamiento de cada área y proceso de perforación.

Una vez que se analizaron los diagramas elaborados, se procedió a realizar la identificación de aspectos e impactos ambientales de las actividades de cada proceso, dando como resultado el Cuadro 4.1, donde se muestran los AA del área de perforación profunda del C.S.R.G. con su respectivo impacto.

Cuadro 4.1. Aspectos e impactos ambientales del área de Perforación Profunda del C.S.R.G, Guanacaste. (2015)

Proceso	Actividad (es)	AA	IA
Perforación de pozo, Etapa I, II, III y IV	Limpieza de campers en plazoleta de perforación	Potencial riesgo de derrame de detergentes en el suelo	Contaminación del suelo, agua
	Limpieza de campers en plazoleta de perforación	Potencial riesgo de derrame de detergentes en personal de limpieza	Afectación a la salud humana
Perforación de pozo, Etapa I, II, III IV, Fluidos de perforación y Perforación aireada	Limpieza de maquinaria y equipo, producción de lodos, prueba de preventores, inyección o ahogamiento del pozo y actividades de perforación aireada	Consumo de agua	Agotamiento del Recurso
Perforación de pozo	Elaboración de contrapozo	Extracción del suelo	Erosión del suelo, pérdida de hábitat y deterioro del paisaje
	Elaboración de contrapozo	Generación de residuos especiales de construcción	Contaminación del suelo y visual
Perforación de pozo, Etapa I, II, III IV, Fluidos de perforación y Cementación	Actividades del taller mecánico, eléctrico y soldadura, preparación de lodos de perforación y corta de cemento	Generación de residuos ordinarios	Contaminación de suelo y visual
Perforación de pozo, Etapa I, II, III IV y Cementación	Actividades varias del taller mecánico, engrase de tubería, reparación de maquinaria o equipo de perforación, mantenimiento de unidad móvil de cementación y cambio de filtros de aceite de los equipos	Potencial riesgo de derrame aceite en el suelo	Contaminación del suelo, agua
	Preparación en tanques de lodos, Enfriamiento de lodos en torre, Salidas y transporte de lodos a la superficie	Potencial riesgo de derrame de lodos de perforación	Contaminación del suelo, agua
Perforación de pozo, Etapa I, II, III IV y Cementación	Actividades de taller mecánicos y soldadura, mantenimiento de maquinaria de perforación y corta de sacos de cemento	Generación de residuos especiales	Contaminación visual, aire, suelo
Cementación	Corta de sacos de cemento y Corta de aditivos (esferilita) para mezclas de cemento	Generación de partículas en suspensión en el aire (cemento y esferilita)	Contaminación del aire

Proceso	Actividad (es)	AA	IA
Cementación	Corta de sacos de cemento y Corta de aditivos (esferilita) para mezclas de cemento	Inhalación y contacto de partículas cemento y aditivos en el personal	Afectación a la salud humana
	Lavado de equipo y maquinaria de cementación	Generación de efluentes con cemento	Contaminación del suelo y agua
	Cementación de pozos perforados	Generación de aguas con cemento en lagunas de contrapozo	Contaminación de aguas
Perforación de pozo, Etapa I, II, III IV, Fluidos de perforación, cementación, perforación aireada	Funcionamiento de maquinaria perforadora, funcionamiento de bombas de succión, funcionamiento de caseta de generación, funcionamiento de unidad de cementación, funcionamiento de compresores para la perforación aireada	Consumo y manejo de diésel	Contaminación del aire, agotamiento recurso
Perforación de pozo, Etapa I, II, III IV	Salida y entrada de sartas de perforación y accidentes en los diferentes talleres	Potencial riesgo de accidente de los trabajadores	Afectación a la salud humana
Perforación de pozo, Etapa I, II, III IV y distribución de la energía	Almacenamiento en tanque de diésel, Fugas en maquinaria y equipo de la perforadora y Fugas en maquinaria y equipo de la perforadora	Potencial de derrame de diésel	Contaminación del suelo, agua
	Almacenamiento en tanque de diésel	Potencial riesgo de explosión del tanque de almacenamiento de diésel	Contaminación del aire, suelo y afectación humana y fauna
Perforación de pozo, Etapa I, II, III IV	Funcionamiento de las diferentes maquinarias y equipos de la perforadora	Emisión de ruido	Contaminación sónica
	Apertura del pozo	Generación de CO ₂	Contaminación de aire
	Apertura del pozo	Generación de H ₂ S	Contaminación del aire
	Perforación con fluidos geotérmicos	Generación de aguas geotérmicas a altas temperaturas y con aditivos de perforación	Contaminación del agua y suelo
	Apertura y pruebas del pozo	Potencial riesgo de daño de flora con salida de vapor de agua caliente	Afectación de la flora aledaña a los pozos
	Taller de soldadura	Potencial riesgo de derrame de thinner y pintura	Contaminación de suelo, agua

Proceso	Actividad (es)	AA	IA
Perforación de pozo, Etapa I, II, III IV	Almacenamiento en lagunas de cortados, almacenamiento en lagunas de contrapozo y almacenamiento en laguna de agua limpia	Potencial riesgo de ahogamiento de los animales en lagunas	Afectación de la fauna
	Almacenamiento de agua en lagunas de cortados	Potencial riesgo de derrame de aguas geotérmicas por ruptura de membrana permeable	Contaminación del suelo y agua subterránea
	Almacenamiento de aditivos de fluidos de perforación	Potencial riesgo de derrame de aditivos para la elaboración de los lodos de perforación	Contaminación del suelo, agua
	Almacenamiento de aguas en la laguna de contrapozo	Potencial riesgo de derrame de aguas de laguna de contrapozo por ruptura de membrana permeable	Contaminación del suelo y agua subterránea
	Perforación de pozos	Generación de cortados geotérmicos	Contaminación visual, suelo

4.2. EVALUACIÓN DE SIGNIFICANCIA Y CUMPLIMIENTO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL DE ASPECTOS AMBIENTALES DEL ÁREA DE PERFORACIÓN PROFUNDA DEL C.S.R.G.

Para realizar la evaluación de significancia de los AA se empleó una matriz que se trabajó en el software Excel que posee el C.S.R.G. Sin embargo, esta matriz nunca había sido utilizada para la evaluación de AA de la empresa, por lo que se analizó el procedimiento y junto con el Gestor Ambiental se realizaron varias modificaciones descritas en la metodología, pues la matriz poseía una clasificación de significancia de algunos criterios confusa. Las mejoras realizadas se actualizarán en la siguiente versión del documento matriz. En el Apéndice 3 se pueden observar los resultados obtenidos de la evaluación realizada con la matriz.

Para la evaluación del cumplimiento de la legislación se tomaron en cuenta once leyes, nueve reglamentos, un decreto y una norma, (las cuales se eligieron de la plataforma virtual de la empresa de abogados Enlace). La evaluación realizada se muestra en el Apéndice 4, donde el incumplimiento de algún artículo de la ley aplicable lo convierte en un aspecto ambiental en significativo.

Una vez realizada las evaluaciones de los AA, los resultados de los AAS del área de perforación profunda, se muestran en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Aspectos ambientales significativos de área de perforación profunda del C.S.R.G. del ICE, Guanacaste.

AAS	IA	Significancia
Consumo de Agua	Agotamiento del recurso	
Generación de partículas en suspensión de polvo (cemento y esferilita)	Contaminación del aire	Alta
Generación de efluentes con cemento	Contaminación del suelo, agua	
Consumo y manejo de diésel	Contaminación del aire	
Emisión de ruido	Contaminación sónica	

Para cada uno de los AAS, en la siguiente sección se analizará el motivo por el cual los criterios de significancia aportaron un alto valor al resultado, así como la presencia de incumplimiento legal, además de realizar una comparación con algunos resultados obtenidos en otras investigaciones similares en otras partes del mundo.

4.2.1 Consumo de agua

El consumo de agua en las plazoletas de perforación proviene de ríos aledaños al área donde se realizan los pozos, para la extracción de este recurso, se requiere realizar estudios y permisos necesarios que son otorgados por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), actualmente solo algunas de las plazoletas poseen con dicha aprobación, ya que existen otras que no cuentan con las concesiones de agua correspondientes, incumpliendo así los artículos 17, 18, 21 y 22 de la Ley de aguas 276, sin embargo, la empresa conocía desde antes la problemática mencionada, por lo cual inició tiempo atrás con los trámites correspondientes para la obtención de los permisos, los cuales aún están en proceso de aprobación.

A pesar de no ser agua potable, al tratarse de un recurso importante como el hídrico, la empresa realiza capacitaciones a sus empleados sobre el uso responsable del mismo. Según el ingeniero César Mora el caudal de consumo promedio extraído del río para una perforadora es de 40 l/s (Mora, 2015), si un pozo de cuatro etapas dura aproximadamente cuatro meses en construcción, el consumo total para la elaboración de un pozo es de aproximadamente 414720 m³, es una cifra bastante grande ya que realizando una comparación, según el Manual Técnico del Departamento de Agua, la dotación diaria de agua por habitante en zona rural es de 200 l/habitante día, lo cual significa que con ese volumen de agua se podría abastecer a una población de 17280 personas por cuatro meses. Por lo que el consumo de grandes volúmenes de agua todos los días y la ausencia de un mecanismo que registre la cantidad exacta diaria o mensual consumida, hace que el impacto se considere como significativo, además en el estudio realizado en Irán por Younes Noorollahi y Hossein Yousef Meshkinshahr (2011:9), coinciden con el resultado obtenido, ya que demuestran que el consumo de agua es uno de los impactos al ambiente que genera la producción de energía geotérmica. En Islandia los pozos de la zona Brennisteinsfjöll, pueden consumir hasta 40 l/s y en situaciones críticas 35000 m³ de agua en 24 horas de la perforación. (Maochang, 2001) Y en Irán los pozos geotérmicos perforados requieren hasta 50 l/s por períodos de varios meses, en ambos estudios se indica que debido a la cantidad de agua que se utiliza para el fluido de perforación el aspecto es considerado como significativo, por lo que se le da alta importancia (Noorollahi & Yousefi, 2011).

4.2.2. Generación de partículas en suspensión en el aire (cemento y esferilita)

Durante la corta de sacos de cements y otros aditivos, se da la generación de partículas en suspensión en el aire, estas se expanden a áreas aledañas al proyecto como se observa en la Figura 4.1, provocando así la contaminación del aire, cubrimiento de vegetación y suelo con partículas de cemento y afectación a la salud de los trabajadores. Estas partículas además de alterar la calidad del aire al entrar en contacto con la vegetación, pueden producir afectación a la misma, impidiendo su crecimiento debido a los compuestos que poseen las mezclas utilizadas. Además al ser las partículas solubles en agua si se produce un contacto accidental con la misma, como por ejemplo con una precipitación, se generará un lavado y se producirá una lechada que pasado el tiempo se endurecerá y afectará la calidad del suelo. La ausencia de medidas de control para mitigar el aspecto, a excepción del uso de equipo de seguridad laboral, así como la frecuencia con la que ocurre son los factores que calificaron al aspecto como significativo.



Figura 4.1. Fotografía de corta de sacos de cemento en el departamento de cementación del C.S.R.G. (2015)

4.2.3. Consumo y manejo de diésel

La cantidad de diésel que se utiliza para la perforación de un pozo es de aproximadamente 40000 litros, lo que representa 96,18 ton de CO₂ equivalentes, suma que es realmente significativa. (Instituto Meteorológico Nacional, 2014) Las labores de perforación se realizan en el campo abierto, donde la única fuente de energía existente es la quema del diésel por

medio de los motores de combustión de las plantas generadoras de electricidad, al tener que quemar combustible todos los días se emiten gases de combustión que generan gran cantidad de CO₂ y otros compuestos químicos presentes en el diésel. En consecuencia, se afectan las áreas aledañas al proyecto, esto hace que se considere como un AAS. Según el estudio realizado por Huang Maochang (2001:19), en Islandia tanto en la perforación, las pruebas de pozo y otras actividades, pueden producir una serie de efectos nocivos al ambiente, los cuales se enlistan Cuadro 4.3, en el cual se realiza una comparación con otros estudios de otros autores sobre la emisión de gases no condensables y gases exhaustos producto de los generadores, compresores y vehículos.

Cuadro 4.3. Comparación de efectos que causan los gases producto de la combustión del diésel. Adaptado de Huang Moachang (2001).

Huang Moachang	Organización Mundial de la Salud	Younes Noorollahi & Hossein Yousefi
Contaminación del aire	Probabilidad de desarrollo de cáncer de pulmón a los seres humanos	Contribución al efecto invernadero
Afectación vegetación y árboles cercanos	Enfermedades cardiacas	Irritación en la piel
Irritación de ojos en los trabajadores	Enfermedades crónicas del aparato respiratorio interior	Formación de smog fotoquímico
Daños respiratorios (irritación de los órganos respiratorios)		
Mareos y nauseas		

Sin embargo, como la perforación es una actividad temporal, no se esperan impactos significativos a largo plazo sobre la calidad del aire, pero si catalogan al aspecto como significativo y consideran que debe haber el seguimiento a largo plazo de sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre y los posibles metales pesados, como el mercurio, en el aire atmosférico.

4.2.4. Emisión de ruido

Debido a que la única fuente de energía es la quema de combustibles y su uso es diario, el funcionamiento de los motores provoca altos niveles de ruido, sumado al ruido que provoca la perforación del suelo y demás maquinaria empleada como los compresores, bombas de succión, maquinaria del taller de soldadura entre otras, hace que en ocasiones se sobrepasen

los rangos de decibeles permisibles, su frecuencia y las medidas de prevención escasas provocan que sea considerado como un AAS. Según el estudio realizado por Li Junfeng (2004:18), en China consideró el ruido como uno de los aspectos ambientales de la explotación geotérmica, sin embargo, por lo general es sólo un problema durante la perforación y prueba de pozos, pues las actividades son temporales y desaparecerán cuando todos los pozos se hayan perforado y probado. El motivo por el cual el aspecto se convierte en significativo, es debido a que el impacto potencial de ruido no sólo se provocará y afectará al sitio, sino también en la proximidad de áreas residenciales. Además los trabajadores deben llevar protección auditiva adecuada con el uso de silenciadores para los oídos durante la perforación y prueba. Se afectará de igual modo a la vida silvestre en las inmediaciones de la plataforma de perforación. (Junfeng, 2004)

4.2.5. Generación de efluentes con cemento

Este aspecto se da en el área de cementación, donde debido al lavado de mangueras con restos de cemento, así como la maquinaria y equipo empleado, se genera un efluente que está siendo vertido sin ningún tratamiento, esto incumple el artículo 128 de la Ley de Conservación de Vida Silvestre, donde hace referencia a que las instalaciones, deberán estar provistas de sistemas de tratamiento para impedir que las aguas contaminadas de cualquier tipo, destruyan la vida silvestre. Esto puede comprobar en la Figura 4.2, donde se evidencia la contaminación provocada al suelo así como la falta de medidas de control que existen para evitar la generación de dichos efluentes. El agua de lavado o lechada es una suspensión que contiene metales tóxicos y puede poseer un alto pH. Además si entra en contacto con el agua de lluvia, esta podría filtrarse a través del suelo y alterar la química del suelo, inhibir el crecimiento de las plantas, y contaminar el agua subterránea. Su alto pH puede aumentar la toxicidad de otras sustancias en las aguas superficiales y los suelos (Environmental Protection Agency, 2012).



Figura 4.2. Fotografía en departamento de cementación sobre la generación de efluentes con cemento. (2015)

4.3. MEDIDAS DE CONTROL PARA LOS ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS

4.3.1. Consumo de agua

Debido a que el C.S.R.G. ya realiza charlas de concientización a sus empleados sobre el uso eficiente del recurso hídrico en fechas establecidas y posee un circuito cerrado de fluidos de perforación que permite el ahorro de gran cantidad de agua, la propuesta de control y mejora es la instalación de medidores de agua en cada máquina perforadora, ya que actualmente no se lleva un registro de la cantidad de volumen exacto que se consume en cada pozo de la plazoleta de perforación.

El medidor de agua permite medir el volumen de agua que pasa a través de la tubería logrando así el objetivo de conocer la cantidad exacta de agua empleada para la realización de un pozo y así poder determinar por medio de los registros si existe un consumo excesivo, esto permitirá posteriormente tomar acciones y correctivas y de mejora.

Se recomienda instalar un medidor de agua que cuente con un registro capaz de tener alta precisión y resolución en la medición, tipo electrónico digital que despliega en pantalla tanto gasto instantáneo como el volumen totalizado, esto debido a que el uso de medidores con registros analógicos se corre el riesgo que si no se revisa la lectura constantemente, como pasan grandes volúmenes de agua en su interior, pueden rotar todas las cifras del medidor, es decir dar una vuelta completa sin notarlo y caer en un error de medición en la lectura. Además

al ser electrónicos cuentan con puertos de comunicaciones seriales, que permiten transferir y recibir comandos para descargar la información almacenada en memoria. La conexión se puede hacer a través de una computadora, controlador lógico programable (PLC) o un recolector de datos portátil, se le pueden conectar equipos de radiocomunicación para enlazarlo en forma remota (Agua y aire sistemas S.A., 2014).

Se recomienda que el medidor esté diseñado para trabajar en sistemas de operación con condiciones duras y caudales altos, cuente con cuerpo de longitud estándar, posea una alta resistencia a la corrosión, por lo que podría estar construido en acero, así como contar con el cumplimiento y aprobación de alguna norma internacional que certifique el correcto funcionamiento del medidor.

Una vez instalado el medidor, se recomienda realizar registros de consumo ya sea mensual, total de agua por pozo o ambos para ir acumulando información que posteriormente puede ser analizada y estudiada para posibles mejoras en el proceso. Además se recomienda realizar registros de consumo de agua de cada una de las actividades que así lo requieran (elaboración de lodos, pruebas de preventores, perforación aireada, lavado de maquinaria, entre otras) de las diferentes máquinas perforadoras, con el objetivo de identificar aquellas que requieren un mayor consumo de agua y poder así ver cómo se puede optimizar el uso del recurso en la ejecución de una determinada actividad. Además esto permitirá poder comparar el consumo de agua por actividad en cada máquina perforadora y determinar si alguna posee un consumo excesivo, en caso de ser así se identificarán los motivos que producen ese aumento así como las técnicas que brinden una reducción, para posteriormente implementarse en las otras perforadoras. Se recomienda elaborar un manual sobre las medidas que producen un manejo responsable del recurso hídrico para que sea de conocimiento de todos los trabajadores y se pongan en práctica.

4.3.2. Generación de partículas en suspensión en el aire (cemento y esferilita)

La propuesta que se recomienda para el control de este aspecto es la instalación de una máquina automática (ver Figura B.3.2 del Anexo 3) que realiza la corta de sacos de cemento por medio un tornillo con cuchillas circulares, una vez rotas pasan a una zaranda vibratoria o pantalla giratoria que permite el cribado del material, el cemento y aditivos se almacenan

en una tolva compacta y las bolsas pasan a un sistema de separación de residuos sólidos que almacena y compacta los sacos para su posterior reciclaje, además posee un filtro externo que permite filtrar el aire polvoriento producido durante el funcionamiento de la máquina, por lo que la emanación de partículas en suspensión estarán totalmente controladas (WANGROUP, 2001).

4.3.3. Consumo y manejo de diésel

Las máquinas perforadoras, las casetas de generación, compresores de aire y bombas de succión de lodos funcionan con motores de combustión, sin embargo, la mayoría son motores mecánicos es decir, siempre inyectan la misma cantidad de combustible ya sea con baja, media o alta carga, emitiendo altas concentraciones de gases como el dióxido de carbono, monóxido de carbono y otras emisiones atmosféricas. Además los motores mecánicos son bastantes antiguos, por lo que se ha descontinuado su fabricación, esto hace que la obtención de repuestos sea complicada o que los repuestos no se consigan en el mercado, por lo que el C.S.R.G. ha propuesto un programa de sustitución de los motores Caterpillar D-398 (mecánicos) por motores electrónicos (Tier II). Los motores eléctricos poseen una computadora que controla la inyección de combustible y aire que debe entrar al motor, es decir, inyecta solamente la cantidad necesaria según sea la demanda de potencia que ocupe el motor, produciendo menores concentraciones de gases de combustión (Rodríguez Sibaja, 2015).

El alto costo de los motores electrónicos impide la sustitución de todos los motores a la vez, sin embargo, la empresa ya cuenta con algunos motores C18 que son electrónicos y como se mencionó anteriormente se encuentra realizando programas de sustitución de los motores mecánicos.

Para este AAS se recomienda entonces cumplir a cabalidad con el programa de sustitución de todos los motores mecánicos por motores eléctricos certificados bajo los estándares Tier, los cuales son estándares que aseguran al comprador la reducción significativa de las emisiones, están certificados ante la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la Unión Europea como motores de bajas emisiones con el objetivo de mejorar la calidad del aire. Basados en dichos estándares,

los motores se clasifican en 4 categorías Tier I, Tier II, Tier III y Tier IV, los motores certificados bajo esta última categoría, son motores que reducen las emisiones hasta el 90% en comparación con los mecánicos. Los motores con categoría Tier II, son los que se recomiendan para realizar la sustitución en la empresa, ya que son los que se aceptan en nuestro país, pues aunque los Tier III y IV emiten menos concentraciones de gases, en nuestro país la impureza del diésel impide poder emplearlos, es decir, se ocupa un diésel más refinado (Environmental Protection Agency, 2008).

La elevada inversión de capital hace que esta medida sea un poco lenta, por lo que para disminuir la emisión de altas concentraciones de gases de combustión mientras se ejecuta el programa de sustitución, se recomienda a la empresa realizar mantenimiento periódico de todos los motores y equipo actual, como lo establecen los Manuales de mantenimiento código RG-PP-MG-19-A-01 que están en análisis en el Departamento de calidad, los cuales aún no se han puesto en marcha y producirían una mejora al proceso (Rodríguez Sibaja, 2015).

Debido a la existencia de equipos de aires acondicionados, computadoras, impresoras y bombillos dentro de las edificaciones móviles así como equipo eléctrico en los talleres de soldadura, eléctrico y mecánico, se recomienda realizar o fortalecer la ejecución de charlas periódicas sobre el uso responsable de la energía para concientizar a los empleados e implementar pequeñas acciones que disminuyan el consumo del diésel, como apagar las computadoras en tiempo de almuerzos y cenas, prender el aire acondicionado solamente cuando sea necesario y mantenerlo a 24 °C no conectar maquinaria que no se está usando, aprovechar la iluminación natural y apagar las luces que no se necesitan, realizar periódicamente mantenimientos eléctricos entre otras.

La iluminación en la plazoleta cuando se perfora de noche, se realiza por medio de lámparas con bombillos fluorescentes, según un estudio realizado en la Universidad Autónoma de México, se estima que del 100% de la energía que consume una lámpara fluorescente el 80% es perdida por calor, el 15% pertenece a las emisiones de rayos ultravioleta e infrarrojos y tan solo el 5% pertenece a la iluminación real, por lo que se recomienda realizar la sustitución a lámparas con tecnología light-emitting-diode (LED) en futuras compras, ya que la iluminación

proporcionada por la tecnología LED produce mayor luz por watt, ya que del 100% de la energía que consume más del 90% es iluminación y solo 10% es pérdida de calor. (Hernández de la Barrera & Grauyere Olay, 2013)

Emplear esta tecnología posee alta eficiencia energética, pues se tiene que una lámpara LED utiliza solo el 10% de la electricidad que necesita una bombilla incandescente para funcionar, es decir, el porcentaje de ahorro suele ser a partir del 50% y al ser más eficientes, consumen menos energía y se disminuye la emisión de carbonos al mismo tiempo que cumple con los niveles de iluminación. Además de tener las ventajas de brindar una luz constante sin parpadeos, no contienen mercurio, poseen una vida útil más larga que los fluorescentes, aportan seguridad en su manipulación y rápido encendido.(Sierra, 2012)

4.3.4. Emisión de ruido

Según el mapa realizado de distribución de ruido (ver Apéndice 5), los puntos donde más ruido se genera en la plazoleta de perforación, son la caseta de generación, bombas de succión de lodos, máquina perforadora y taller de soldadura, por lo que se propone emplear aislantes de ruido en la maquinaria mencionada, esto debido a que el ruido será temporal y es la opción económicamente más factible y eficiente para la empresa. La idea es cubrir de material aislante las carcasas que cubren los motores como se muestra en la Figura 4.3.

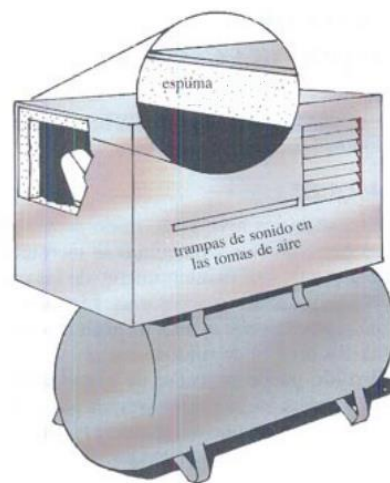


Figura 4.3. Mecanismo para aislar el ruido en la maquinaria de perforación. Tomado del Instituto Español de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2010)

El aislante de ruido deberá resistir altas vibraciones, debe ser resistente a altas temperaturas, incombustible, alcalino y químicamente estable, debe ser compacto y de un grosor adecuado que permita ser empleado en la maquinaria deseada, debe ser ideal para aislar turbinas, cámaras de combustión, componentes de motores de alta temperatura (UCERSA S.A, 2015).

Se recomienda establecer en las características de adquisición equipos, cumplir con los estándares y límites de emisión de ruido nacional, como en el caso de motores, compresores y demás maquinaria, generalmente estos equipos se identifican con sellos como el que se muestra en la Figura 4.4. Se debe certificar que en la ficha técnica del producto así se establezca (Valerio Pérez, 2015).

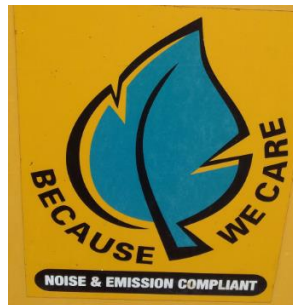


Figura 4.4. Sello de identificación de maquinaria con bajas emisiones y control de ruido. (2015)

4.3.5. Generación de efluentes con cemento

Durante el lavado de maquinaria y equipo empleado en el área de cementación, como se observó en la Figura 4.2, se generan efluentes de cemento que ocasionan la contaminación del suelo, la EPA recomienda emplear sistemas que puedan recolectar y conservar toda el agua de lavado de las maquinarias y sólidos en contenedores a prueba de fugas, esto para evitar que el material llegue a la superficie del suelo y luego pueda migrar a las aguas superficiales o en el agua subterránea. Debido a que este proceso no ocurre todos los días, sino una vez al mes y que cuando ocurre, se genera un caudal relativamente pequeño, uno de los sistemas altamente empleados en la industria de construcción de pozos petroleros y

recomendado por la EPA, en el documento “Stormwater Best Management Practice, Concrete Washout” es el uso de bolsas filtrantes. La bolsa de filtro es biodegradable ayuda en la extracción de las partículas sólidas de cemento y demás materiales sólidos presentes, cuando se levanta la bolsa, el agua se filtra y los sólidos quedan en la bolsa (Figura 4.5), posteriormente los sólidos se pueden dejar secar y una vez endurecidos ser eliminados en un vertedero o entregarlos a un reciclador (Environmental Protection Agency, 2012).



Figura 4.5. Filtración de los sólidos de la lechada de cemento. Tomado de la Environmental Protection Agency. (2015).

El agua filtrada resultante queda libre de material sólido, por lo que se propone que el agua de lavado llegue hasta el filtro y que debajo del mismo haya un tanque (Figura B.3.8 del Anexo 3) que conduzca el agua posteriormente a un desarenador o sedimentador para terminar de eliminar las partículas en suspensión, así como poder controlar el pH en caso de que sea necesario, para posteriormente poder desecharlo sin ocasionar problemas al ambiente (Environmental Protection Agency, 2012).

Este sistema debe ser inspeccionado diariamente cuando esté en uso, cuando el filtro esté saturado se puede volver a reutilizar o poner uno nuevo. Si el sistema va a estar al aire libre, después de fuertes lluvias se debe comprobar que no haya problemas en el sistema.

5. CONCLUSIONES

- Las visitas realizadas a las diferentes áreas de Perforación Profunda del C.S.R.G del ICE en Guanacaste, durante tres meses permitieron la elaboración de diagramas de flujo de los procesos más importantes realizados, por medio de los cuales se determinó que el departamento posee 28 AA involucrados con sus actividades rutinarias.
- Mediante la evaluación con la matriz de significancia, usando los criterios ambientales de extensión, intensidad, vulnerabilidad y frecuencia así como la evaluación del cumplimiento de legislación ambiental vigente en el país, se logró identificar que el área de Perforación Profunda posee 5 AAS producto de la realización de sus actividades, siendo el consumo de agua el aspecto de mayor importancia, debido a la falta de medidas de control y falta de permisos legales para su correcto funcionamiento.
- Se recomendaron ocho medidas de control eficientes y tecnológicas que permitirán mejorar y controlar los AAS del área de Perforación Profunda, siendo la implementación de bolsas filtrantes y un sedimentador la que requiere un plazo menor de implementación, dado el valor de significancia obtenido como AAS, el impacto ambiental que provoca e incumplimiento del artículo 128 de la Ley de Conservación de Vida Silvestre
- Producto de la ejecución de un mapa de distribución de ruido se determinó que los puntos dentro de la plazoleta de perforación donde se generan los más altos niveles de decibeles son los motores de las casetas de generación, el motor de máquina perforadora y compresor del taller de soldadura, la instalación de aislantes de sonido en las carcasas de los equipos identificados reducirá la emanación de ruido.
- La emanación de partículas suspendidas en el aire de cemento, esferilita y otros aditivos producto de la corta manual de sacos de cemento, altera la calidad del aire de áreas aledañas al proyecto, este impacto será controlado con la instalación de máquina Automatic Bag Splitter modelo RSA de WanGroup.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar las reformas a la matriz de evaluación de significancia recomendadas para una mejor identificación de AAS.
- Realizar más mapas de distribución de ruido en varias plazoletas de perforación, en los cuales se deben incluir una mayor cantidad de coordenadas o puntos de medición debidamente distribuidos para que el modelo de distribución de ruido interpolación IDW se ajuste de una mejor manera tanto en el día como en la noche para obtener un mejor promedio. También se recomienda hacer mapas de ruido en las comunidades vecinas para conocer la situación en los puntos de interés, para que una vez implantadas las mejoras o finalizada la etapa de perforación comparar y poder definir el comportamiento de ruido.
- Medir con equipos específicos y mejores límites de detección la concentración de gases como óxidos de azufre, monóxido de carbono y metales pesados producto de la combustión de diésel, para realizar registros y evaluar el cumplimiento con los límites máximos permisibles la legislación vigente en el país.
- Agilizar lo más antes posible los permisos de concesión de agua otorgados por el MINAE, en cada una de las plazoletas de perforación.
- Realizar planes de acción para los aspectos con una significancia moderada en donde se incluyan propuestas de mejora en su desempeño y control.
- Identificar los AAS de las demás áreas del C.S.R.G, con el objetivo de realizar un SGA integro, basado en los aspectos identificados.
- Realizar el estudio económico de cada una de las propuestas recomendadas para determinar la inversión económica así como el tiempo de retorno de la inversión.
- Esperar a que el desarrollo del mercado de motores de combustión con gas natural empleados en la industria de perforación de pozos sea más explotado y perfeccionado, es decir, que existan motores con la misma potencia eléctrica que los de diésel, para elaborar un análisis económico sobre el uso de las dos diferentes tecnologías de motor y considerar la sustitución de los mismos.

7. REFERENCIAS

- Agua y aire sistemas S.A. (2014). Medidor de agua Hidrónico MP. México.
- Brommer, P. (2008). *A Primer of Oilwell Drilling*. (International Association of Drilling Contractors, Ed.) (7th ed.). Texas: The University of Texas.
- Comité Ambiental del Centro Servicio y Recursos Geotérmicos. (2014). *Programa Bandera Azul 2014*. Guanacaste.
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2006). *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. (M. Dickson & M. Fanelli, Eds.) (7th ed.). Paris: UNESCO. Obtenido de <http://books.google.com/books?id=cI6crn0oemUC&pgis=1>
- Elvira Quesada, J. R. (2015). *Proyecto de Norma Oficial Mexicana*. México. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=666313
- Environmental Protection Agency. (2008). *EPA Finalizes More Stringent Emissions Standards for Locomotives and Marine Compression-Ignition Engines*. United States.
- Environmental Protection Agency. (2012). *Stormwater Best Management Practice, Concrete Washout*. United States. Obtenido de www.epa.gov/npdes/pubs/concretewashout.pdf
- Fallas Saborío, C., & Rodríguez Álvarez, J. (2010). *Miravalles, historia del primer complejo geotérmico en Costa Rica*. Guanacaste: ICE.
- Finger, J., & Blankenship, D. (2010). *Handbook of Best Practices for Geothermal Drilling*. California.
- Guido Sequeira, H. (2002). *Diseño de un modelo para la construcción de un pozo geotérmico ambientalmente*. Tecnológico de Costa Rica.
- Hamid Fauzi, M., & Wan Sulaiman, W. R. (2010). *Fundamentals of Petroleum Engineering Drilling Operations*. Malaysia. Obtenido de http://ocw.utm.my/file.php/12/Chapter_7-OCW.pdf
- Hernández de la Barrera, P., & Grauyere Olay, M. (2013). *Lámparas de tecnología led, un ahorro energético*. Coacalco, México. Obtenido de <http://vinculacion.dgire.unam.mx/Congreso-Trabajos-pagina/PDF/CongresoEstudiantil2014/Proyectos2014-%C3%81rea/1.CienciasBiol%C3%B3gicas/medioambiente/2.10CIN2014A10218-MedioAmbiente.pdf>

- Instituto Meteorológico Nacional. (2014). *Factores de emisión gases efecto invernadero*. Costa Rica.
- Junfeng, L. (2004). *Environmental Impact of Geothermal Development in Tianjin, China*. Tianjin, China.
- Kagel, A., Bates, D., & Gawell, K. (2007). *A Guide to Geothermal Energy and the Environment*. Washington D.C. Obtenido de http://geo-energy.org/reports/environmental_guide.pdf
- Livesay, B. (2006). *The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. (U.S. Department of Energy, Ed.). Massachusetts: Gwen Wilcox, MIT. Obtenido de http://www.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/structure_outcome.pdf
- López Flores, O. S., Parker Vega, A. A., & Romero Hernández, M. T. (2006). *Diseño de un modelo de auditoría ambiental de carácter sostenible para el sub-sector de generación eléctrica apartir del recurso geotérmico*. Universidad de El Salvador. Obtenido de <http://core.ac.uk/download/pdf/11227626.pdf>
- Maochang, H. (2001). *Possible Environmental Impacts of Drilling Exploratory Wells for Geothermal Development in the Brennisteinsfjoll Area, Sw-Iceland* (Vol. 000). Iceland.
- Marttunen, M., Vienonen, S., Koivisto, U., & Ikäheimo, E. (2013). *Impact Significance Determination in Environmental Impact Assessment*. Finlandia. Obtenido de http://imperija.jyu.fi/tuotokset/IMPACTSIGNIFICANCEDETERMINATION_29_06_2013.pdf
- Ngugi, P. K. (2008). *Geothermal Well Drilling*. Keyna.
- Noorollahi, Y., & Yousefi, H. (2011). *Preliminary environmental impact assessment of a geothermal project in Meshkinshahr , NW-Iran*. *International Geothermal Conference, Reykjavik, Sept.2011*. Irán.
- Organización Internacional de Normalización. (2004). *Traducción certificada Certified translation Traduction certifiée ISO* (Vol. 2004). Suiza. Obtenido de http://www.uma.es/media/files/ISO_14001_2004.pdf
- Ruda, T. C., & Bosscher, P. J. (2005). *National Drilling Association Driller's Manual*. Washington DC. Obtenido de <http://www.nda4u.com/trainingcenter/downloads/drillersmanual.pdf>
- Sierra, F. (2012). *Iluminación LED*. Madrid, España. Obtenido de <http://www.fmmadrid.es/jornadaiese/iluminacionled.pdf>

- Thorhallsson, S., & Gunnlaugsson, E. (2012). *Directional wells*. El Salvador. Obtenido de <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-14-24.pdf>
- Tolman, J. (1979). *Water Well Driller's Beginning Training Manual*. (Ground Water Age, Ed.) (1st ed.). The National Water Well Association. Obtenido de <http://www.ircwash.org/sites/default/files/212.0-79WA-526.pdf>
- UCERSA S.A. (2015). *Técnicas de insonorización y antivibración*.
- Valerio Pérez, J. (2015). *Descripción de obras en plazoleta de perforación*. Guanacaste.
- Volpi, G. (2009). *La Industria Geotérmica*. Santiago, Chile.
- WANGROUP. (2001). *Technical Catalogue Automatic Bag Splitter*.

8. APÉNDICES

APENDICE 1. CUADROS DE CRITERIOS DE SIGNIFICANCIA MODIFICADOS
PARA LA EVALUACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS

Cuadro A.1.1. Valor de significancia de las opciones del criterio extensión. Adaptado de C.S.R.G. (2015)

Extensión	Valor
Abarca o extiende regionales	5
Afecta áreas aledañas al proyecto	3
Afecta al área del proyecto (in situ)	1

Cuadro A.1.2. Valor de significancia de las opciones del criterio intensidad. Adaptado de C.S.R.G. (2015)

Intensidad	Valor
Personal necesita de atención médica	3
Personal presenta molestias perceptibles	2
El personal no presenta molestias de ningún tipo	1
Posible muerte de especies de fauna o flora	3
Alejamiento de flora o fauna	2
Efectos en flora y fauna insignificantes	1
Afectación grave medio ambiente	3
Afectación moderada del medio ambiente	2
Afectación leve del medio ambiente	1

APÉNDICE 2: DIAGRAMAS DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE PERFORACIÓN PROFUNDA

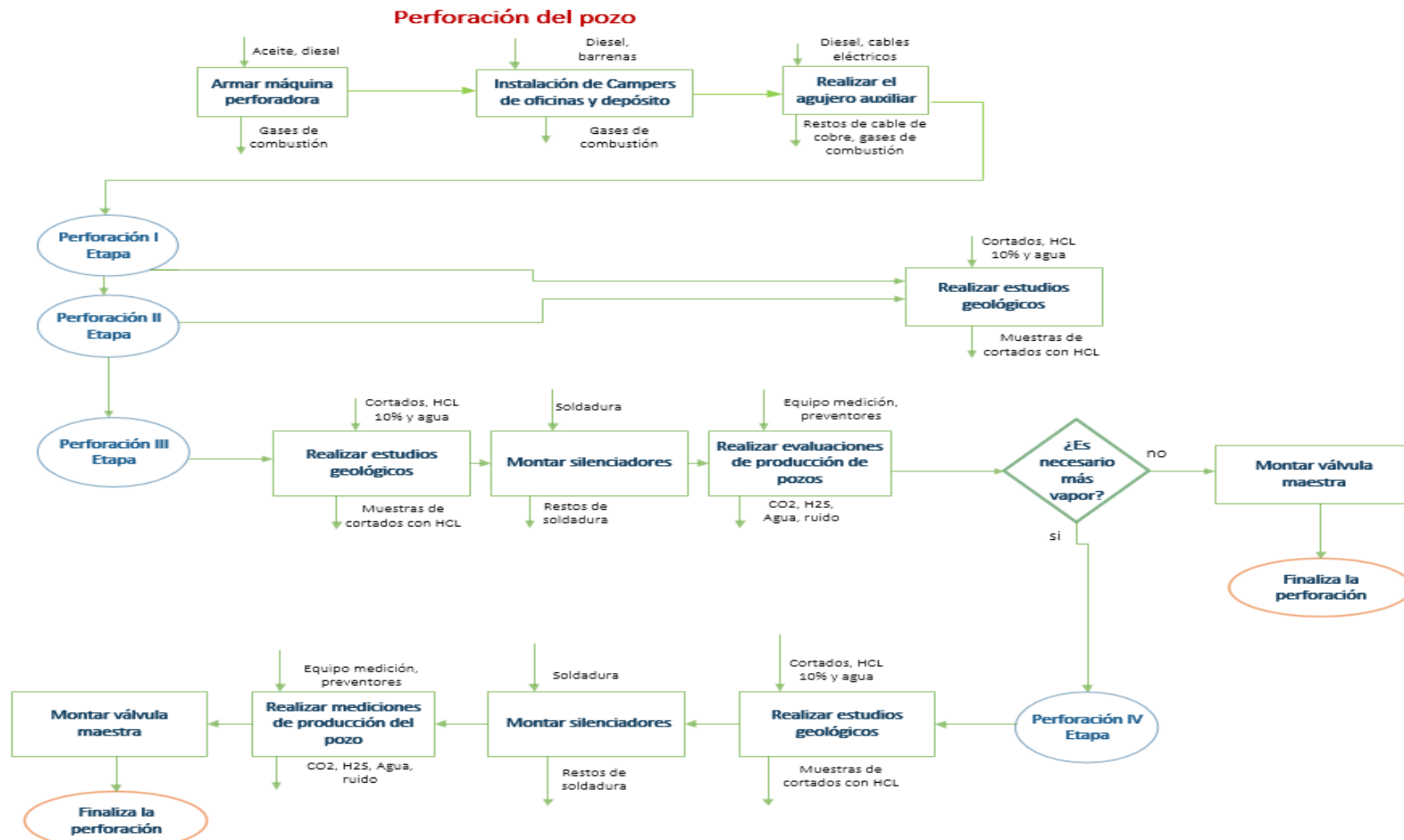


Figura A.2.1 Diagrama de Perforación profunda. (2015)

Fluidos de Perforación

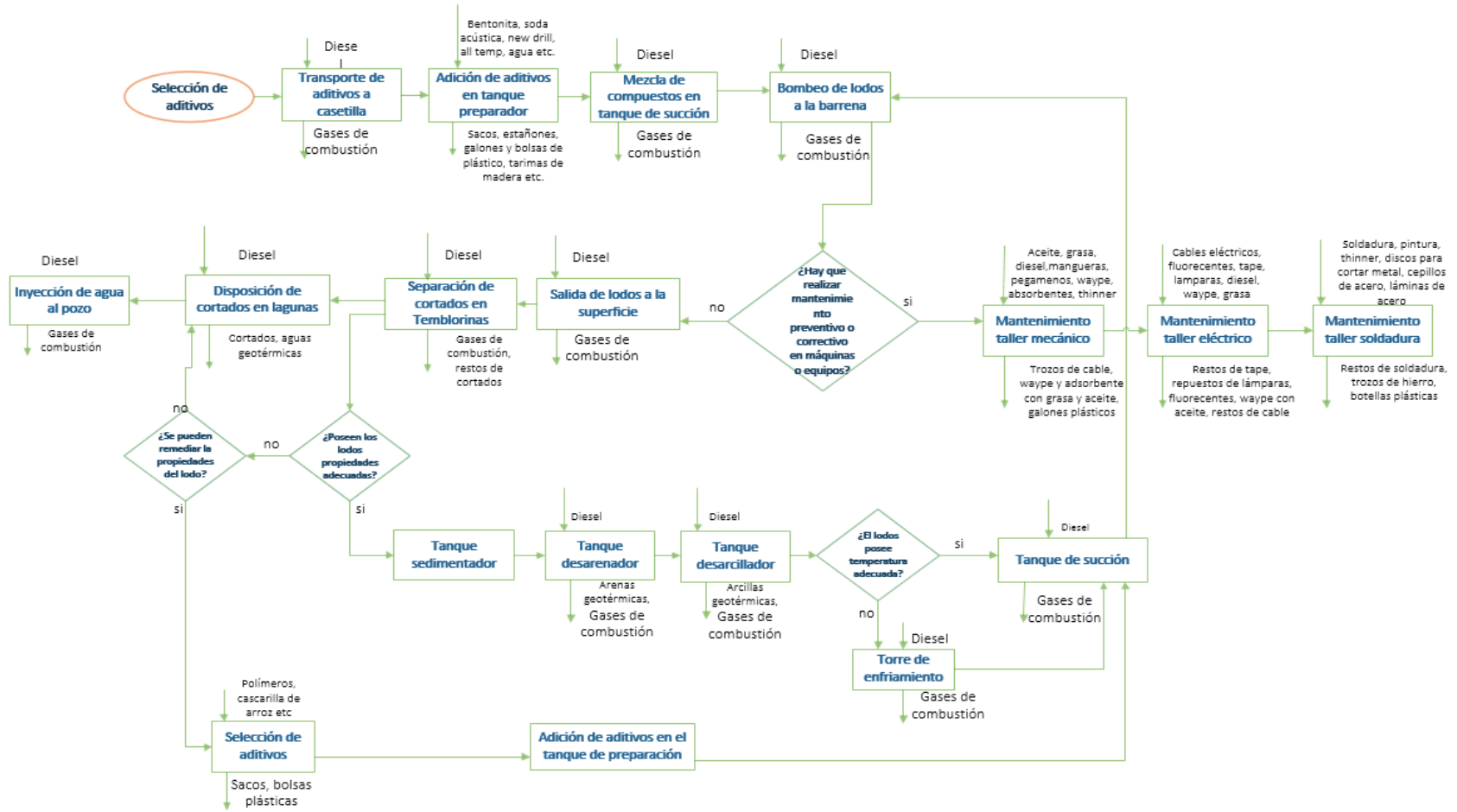


Figura A.2.2 Diagrama de fluidos de perforación. (2015)

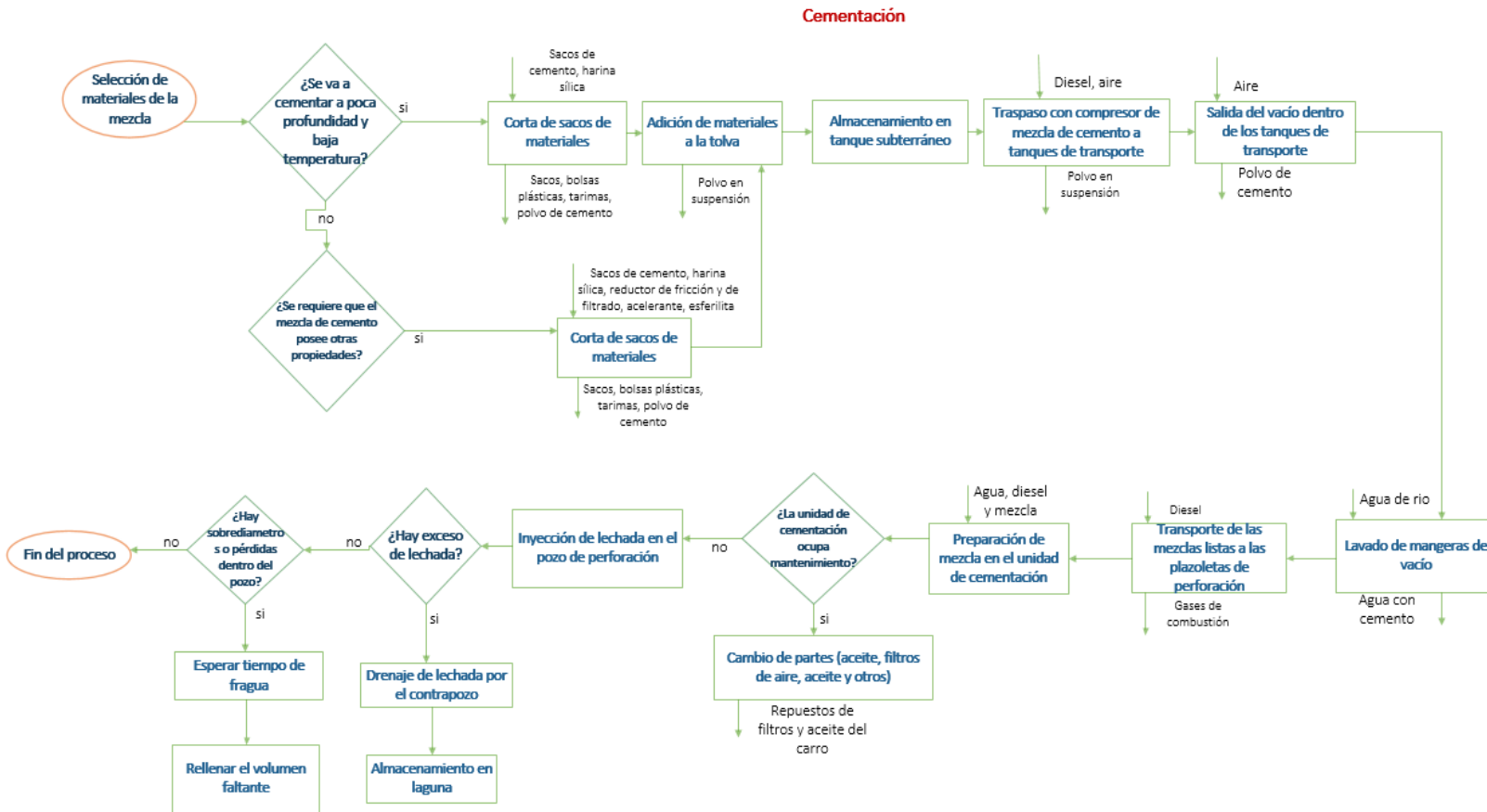


Figura A.2.3 Diagrama de Cementación. (2015)

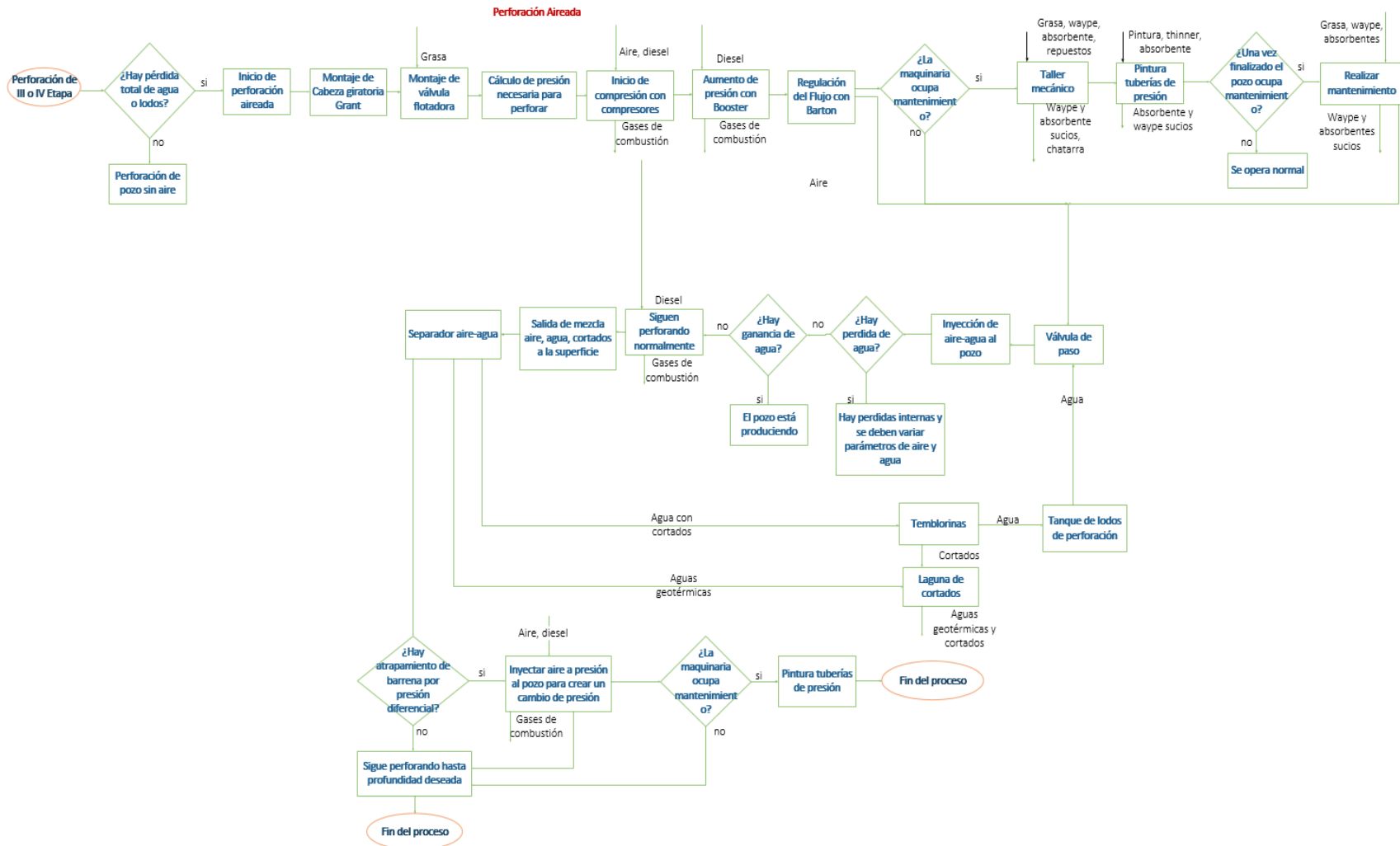


Figura A.2.4 Diagrama de perforación aireada. (2015)

Presurización del pozo

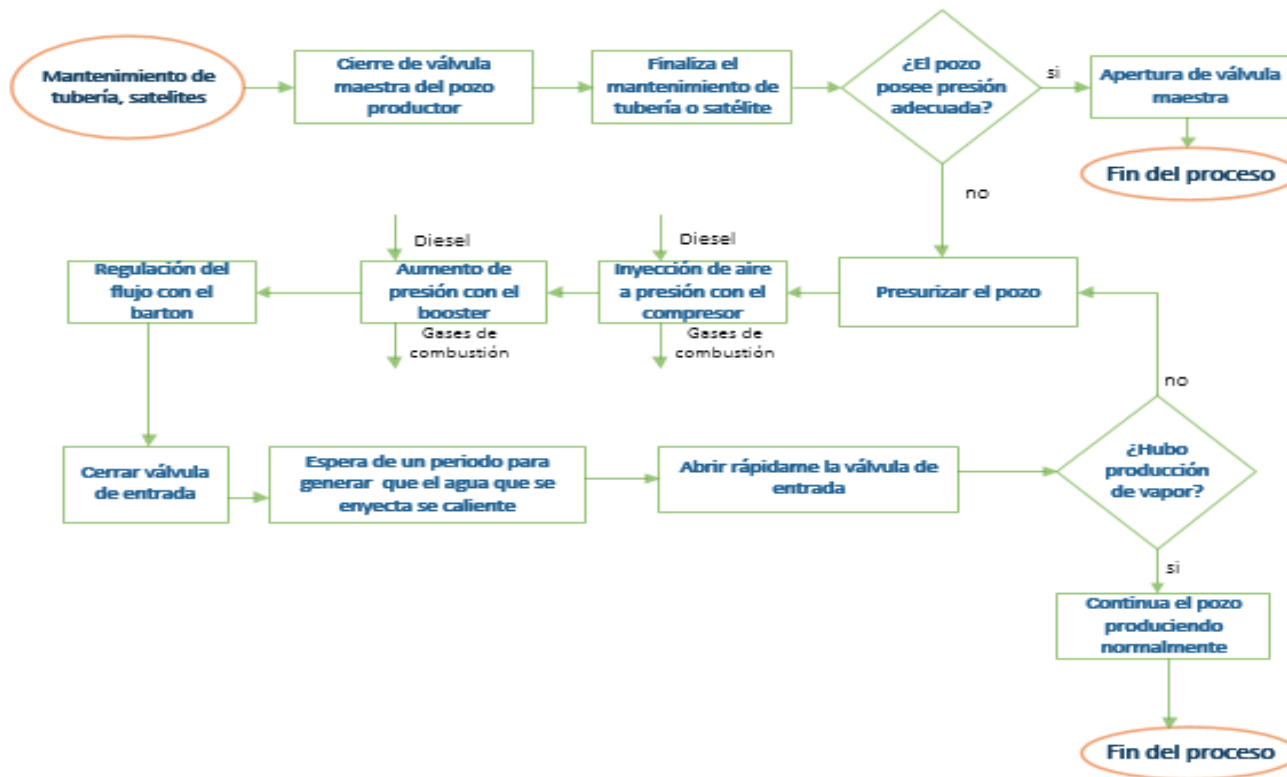


Figura A.2.5 Diagrama de presurización del pozo. (2015)

Abastecimiento de Energía

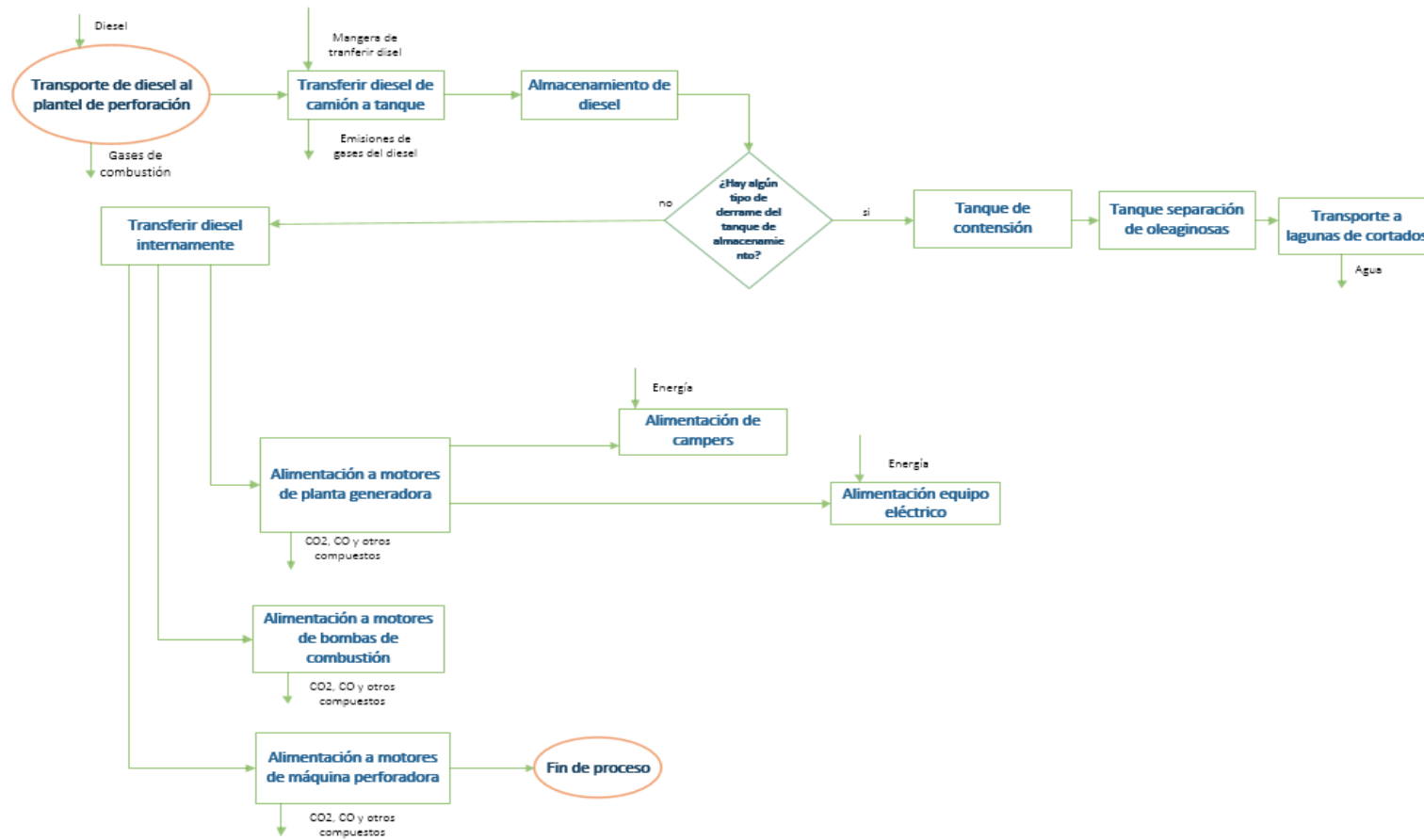


Figura A.2.6 Diagrama de abastecimiento de energía. (2015)

I Etapa

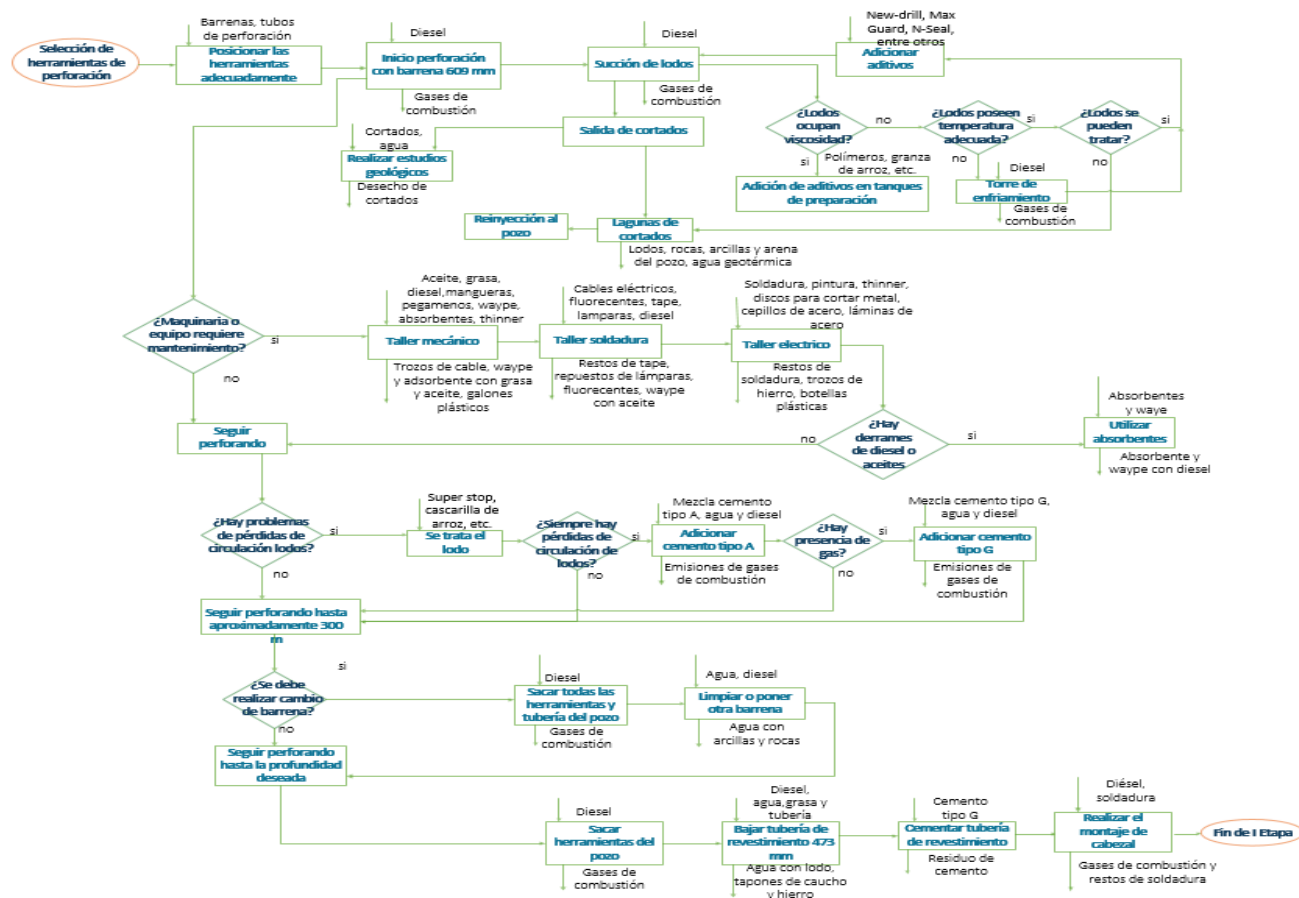


Figura A.2.7 Diagrama de I Etapa. (2015)

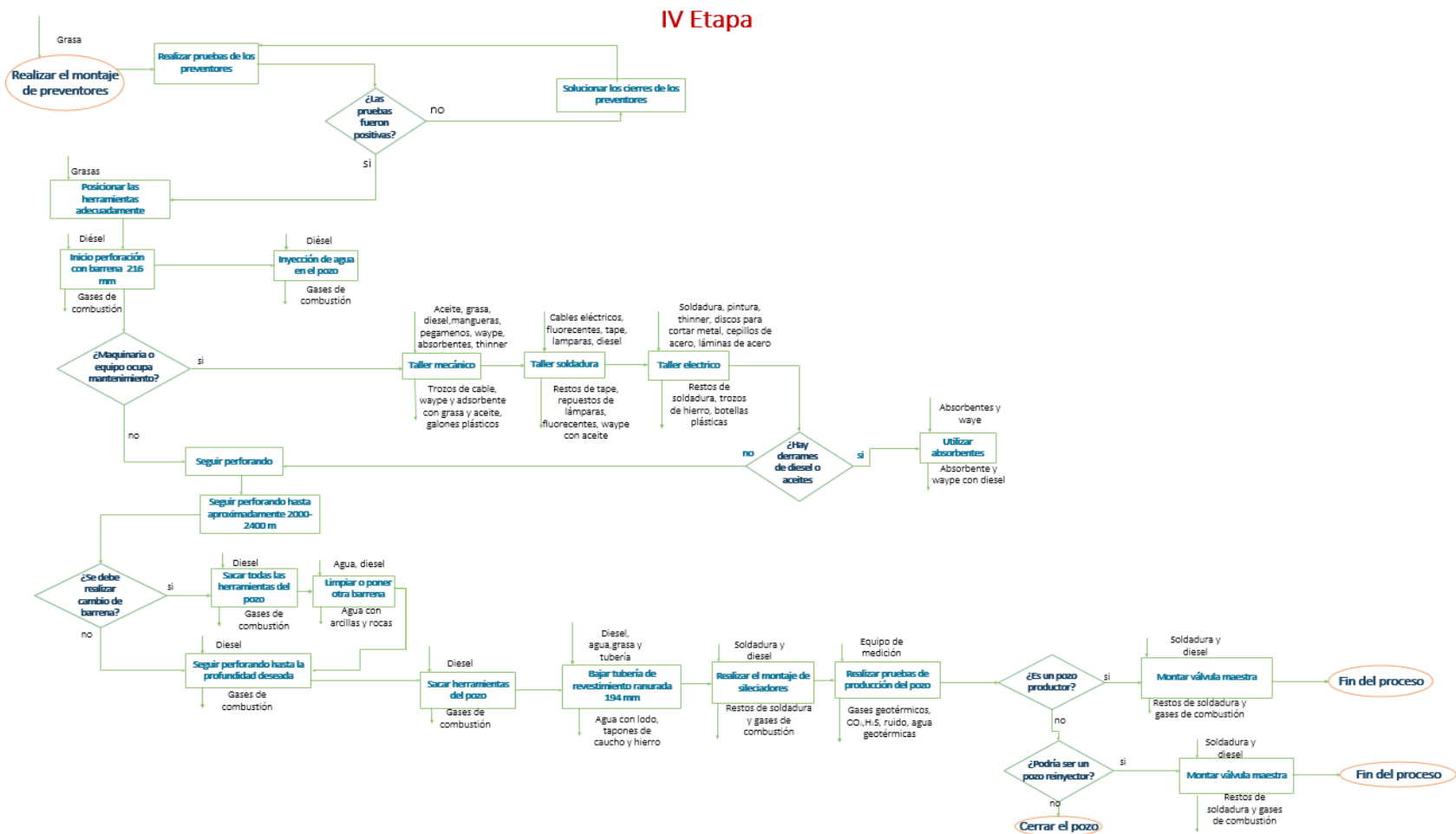


Figura A.2.10. Diagrama de IV Etapa. (2015)

APÉNDICE 3: EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES DE PERFORACIÓN PROFUNDA SEGÚN LA MATRIZ DE SIGNIFICANCIA MODIFICADA

Cuadro A.3.1. Nivel de significancia obtenido por la evaluación de la matriz de significancia de los aspectos ambientales del departamento de perforación profunda del Centro Servicio Recursos Geotérmicos. (2015)

No	AA	IA	Extensión	Valor	Vulnerabilidad	Valor Severidad	Frecuencia	Valor	Intensidad	Valor Magnitud	Nivel de significancia		
1	Potencial riesgo de derrame de detergentes en el suelo	Contaminación del suelo	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea o controla el aspecto, pero no se toman acciones preventivas para mitigar el impacto	2	2	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Afectación grave medio ambiente	3	9	Baja
2	Potencial riesgo de derrame de detergentes en personal de limpieza	Afectación a la salud humana	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	1	Ha ocurrido en el pasado, pero no durante el último año, o nunca ha ocurrido	1	Personal necesita de atención médica	3	3	Baja
3	Consumo de agua	Agotamiento del Recurso	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	No se monitorea ni controla el aspecto	3	9	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación grave medio ambiente	3	12	Alta
4	Extracción del suelo	Erosión del suelo, pérdida de hábitat y deterioro del paisaje	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea o controla el aspecto, pero no se toman acciones preventivas para mitigar el impacto	2	2	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Afectación moderada del medio ambiente	2	6	Baja
5	Generación de residuos especiales de construcción	Contaminación del suelo y visual	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	1	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Afectación moderada del medio ambiente	2	6	Baja

No	AA	IA	Extensión	Valor	Vulnerabilidad	Valor Severidad	Frecuencia	Valor	Intensidad	Valor Magnitud	Nivel de significancia
6	Generación de residuos ordinarios	Agotamiento del Recurso	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1 1	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación leve del medio ambiente	1 4	Baja
7	Potencial riesgo de derrame aceite en el suelo	Contaminación del suelo	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1 1	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Afectación grave medio ambiente	3 9	Baja
8	Potencial Riesgo de Derrame de lodos de perforación	Contaminación del suelo	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea o controla el aspecto, pero no se toman acciones preventivas para mitigar el impacto	2 2	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación moderada del medio ambiente	2 8	Baja
9	Generación de residuos especiales	Contaminación visual, aire, suelo	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1 1	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación moderada del medio ambiente	2 8	Baja
10	Generación de partículas en suspensión de polvo (cemento y esferilita)	Contaminación del aire	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	No se monitorea ni controla el aspecto	3 9	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Afectación moderada del medio ambiente	2 6	Alta
11	Inhalación de partículas de cemento por parte de los trabajadores	Afectación a la salud humana	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1 1	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Personal presenta molestias perceptibles	2 6	Baja
12	Generación de efluentes con cemento	Contaminación del suelo, agua	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	No se monitorea ni controla el aspecto	3 9	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Afectación moderada del medio ambiente	2 6	Alta

No	AA	IA	Extensión	Valor	Vulnerabilidad	Valor	Severidad	Frecuencia	Valor	Intensidad	Valor	Magnitud	Nivel de significancia
13	Consumo y manejo de diésel	Contaminación del aire	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	Se monitorea o controla el aspecto, pero no se toman acciones preventivas para mitigar el impacto	2	6	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación grave medio ambiente	3	1 2	Alta
14	Potencial riesgo de accidente de los trabajadores	Afectación a la salud humana	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	1	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Personal necesita de atención médica	3	9	Baja
15	Potencial de derrame de diésel	Contaminación del suelo	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	1	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Afectación grave medio ambiente	3	9	Baja
16	Potencial riesgo de explosión	Contaminación del aire, suelo y afectación humana y fauna	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	3	Ha ocurrido en el pasado, pero no durante el último año, o nunca ha ocurrido	1	Afectación grave medio ambiente	3	3	Baja
17	Emisión de ruido	Contaminación sónica	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	Se monitorea o controla el aspecto, pero no se toman acciones preventivas para mitigar el impacto	2	6	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación grave medio ambiente	3	1 2	Alta
18	Generación de CO2	Contaminación de aire y contribución al efecto invernadero	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	Se monitorea o controla el aspecto, pero no se toman acciones preventivas para mitigar el impacto	2	6	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación moderada del medio ambiente	2	8	Moderada

No	AA	IA	Extensión	Valor	Vulnerabilidad	Valor	Severidad	Frecuencia	Valor	Intensidad	Valor	Magnitud	Nivel de significancia
19	Generación de H2S	Contaminación del aire y modificación del comportamiento del pH de las lluvias	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	Se monitorea o controla el aspecto, pero no se toman acciones preventivas para mitigar el impacto	2	6	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación leve del medio ambiente	1	4	Moderada
20	Generación de aguas geotérmicas	Contaminación del suelo	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	1	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación moderada del medio ambiente	2	8	Baja
21	Potencial riesgo de quema de árboles con salida de vapor de agua caliente	Agotamiento del Recurso	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	3	El aspecto ambiental ocurre una o varias veces por año.	2	Afectación grave medio ambiente	3	6	Baja
22	Potencial Riesgo de derrame de thinner y pintura	Contaminación de suelo	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea o controla el aspecto, pero no se toman acciones preventivas para mitigar el impacto	2	2	El aspecto ambiental ocurre una o varias veces por año.	2	Afectación moderada del medio ambiente	2	4	Baja
23	Potencial riesgo de ahogamiento de los animales en lagunas	Afectación de la fauna	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	1	El aspecto ambiental ocurre una o varias veces por año.	2	Posible muerte de especies de fauna o flora	3	6	Baja

No	AA	IA	Extensión	Valor	Vulnerabilidad	Valor	Severidad	Frecuencia	Valor	Intensidad	Valor	Magnitud	Nivel de significancia
24	Potencial riesgo de derrame de aguas geotérmicas por ruptura de membrana permeable	Contaminación del suelo y agua subterránea y superficial	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	3	El aspecto ambiental ocurre una o varias veces por año.	2	Afectación grave medio ambiente	3	6	Baja
25	Potencial riesgo de derrame de aditivos para la elaboración de los lodos de perforación	Contaminación del suelo y agua subterránea	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	Se monitorea o controla el aspecto, pero no se toman acciones preventivas para mitigar el impacto	2	6	El aspecto ambiental ocurre una o varias veces por año.	2	Afectación grave medio ambiente	3	6	Moderada
26	Generación de aguas con cemento en lagunas de contrapozo	Contaminación de aguas	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	1	El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3	Afectación moderada del medio ambiente	2	6	Baja
27	Potencial derrame de aguas de laguna contrapozo por ruptura de membrana permeable	Contaminación de aguas subterráneas y suelo	Afecta áreas aledañas al proyecto	3	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	3	El aspecto ambiental ocurre una o varias veces por año.	2	Afectación grave medio ambiente	3	6	Baja
28	Generación de cortados geotérmicos	Contaminación visual, suelo	Afecta al área del proyecto (in situ)	1	Se monitorea y controla el aspecto implementando acciones preventivas para disminuir el impacto	1	1	El aspecto ambiental ocurre todos los días	4	Afectación moderada del medio ambiente	2	8	Baja

APÉNDICE 4: EVALUACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES DE PERFORACIÓN PROFUNDA SEGÚN LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Cuadro A.4.1. Nivel de significancia obtenido por la evaluación de legislación ambiental de los aspectos ambientales del departamento de perforación profunda del Centro Servicio Recursos Geotérmicos. (2015)

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
Potencial riesgo de derrame de detergentes en el suelo	A los campers se les debe dar mantenimiento de limpieza para esto utilizan productos como cloro al 12%, jabón en polvo y desinfectante	Contaminación del suelo	Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados 37757	6 (Establece los valores de químicos que normalmente debe tener el suelo, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento) 7 (Establece los valores máximos permisibles de sustancias prohibidas por protocolos, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento)	SI
			Ley uso, manejo y conservación de suelos 7779	29 (Seguir prácticas de manejo de suelos para evitar en ellos la lixiviación y acumulación de agrotóxicos y lixiviados industriales) 69(dosificar, almacenar, disponer y manejar los agroquímico sus recipientes usados, desechos artificiales, o de otro orden, de acuerdo con la tecnología disponible, de manera tal que no produzcan efectos dañinos para los recursos y riquezas naturales en el suelo, agua, aire)	SI
Potencial riesgo de derrame de detergentes en personal de limpieza	El riesgo de que estos químicos de limpieza les caigan al personal siempre está latente	Afectación a la salud humana	Código de trabajo 2	193 (El patrono debe adoptar precauciones para proteger la vida, la salud y la moralidad de los trabajadores) 194 (El patrono debe acatar y hacer cumplir las medidas que tiendan a prevenir los accidentes y enfermedades de trabajo) 214 (Si hay lesiones que acarreen una grave mutilación o desfiguración se equiparán para efectos de su indemnización, a la incapacidad parcial permanente)	SI
			Ley general de la salud 5395	18 (Obligación del personal evitar, diligentemente, los accidentes personales y los de las personas a su cargo, cumplir las disposiciones de seguridad, especiales o generales)	SI
			Ley de riesgos del trabajo 6727	193 (Se debe asegurar a trabajadores contra riesgos del trabajo) 214 (Indagar todos las circunstancias referentes a los riesgos del trabajo que ocurran a sus trabajadores y reportarlas al INS) 282 (Adoptar en los lugares de trabajo las medidas para garantizar la salud ocupacional de los trabajadores)	SI
			Ley Nacional de emergencias y prevención de riesgo 8488	12 (Establecer un plan de prevención y atención de emergencias que considere la estructura de coordinación interna y procedimientos correspondientes)	SI

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
Consumo de agua	La organización se abastece de agua de los ríos aledaños a las plazoletas de perforación	Agotamiento del Recurso	Ley de aguas 276	17 (Es necesaria autorización para el aprovechamiento de las aguas públicas, especialmente dedicadas a empresas de interés público, la autorización la concederá el MINAE)	NO
				18 (Toda persona que esté disfrutando de un derecho de aguas, deberá exhibir la concesión que tenga para ejercitar ese derecho)	
				21 (En toda concesión de aprovechamiento de aguas públicas se fijará la naturaleza de ésta, el caudal otorgado, así como, para que fue concedida)	
				22 (Las aguas concedidas para un aprovechamiento, no podrán compartirse sin la correspondiente autorización)	
			Ley general de la salud 5395	275 (Prohíbe contaminar las aguas superficiales, subterráneas directa o indirectamente)	SI
			Ley orgánica del ambiente 7554	51 (Mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de las cuencas hidrográficas) 67 (Adoptar las medidas adecuadas para impedir o minimizar la contaminación o el deterioro sanitario de las cuencas hidrográficas)	SI
			Canon por concepto de aprovechamiento de aguas 2868	2 (Las instituciones de gobierno que aprovechan el agua de una concesión deberán cancelar los respectivos montos por concepto de canon)	SI
Extracción del suelo	Se debe realizar dicha extracción para la construcción del contrapozo	Erosión del suelo, pérdida de hábitat y deterioro del paisaje	Ley orgánica del ambiente 7554	68 (Evitar la contaminación del suelo por acumulación, almacenamiento, recolección, inadecuada de desechos y sustancias peligrosas de cualquier naturaleza)	SI
			Uso, manejo y conservación de suelos 7779	41 (Se de cumplir, fomentar, contribuir y ejecutar todas las prácticas y actividades necesarias para el manejo, la conservación y la recuperación de suelos)	SI

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
			Ley orgánica del ambiente 7554	68 (Evitar la contaminación del suelo por acumulación, almacenamiento, recolección, transporte o disposición final inadecuada de desechos y sustancias tóxicas o peligrosas de cualquier naturaleza)	SI
Generación de residuos especiales de construcción	Producto de la construcción del contrapozo y otras obras menores	Contaminación del suelo y visual	Ley para la gestión integral de residuos 8839	14 (Se debe contar y mantener actualizado un programa de manejo integral de residuos, el programa en caso que lo amerite debe incluir la entrega de residuos a gestores autorizados para el manejo sanitario y ambiental adecuado) 34 (Es prohibida la importación y el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos, radioactivos y bioinfecciosos) 43 (Asegurar entrega-transporte-recepción y el manejo ambientalmente adecuado de estos y evitar que ocasionen daños a la salud y el ambiente) 44 (No mezclar los residuos peligrosos, envasar y etiquetarlos correctamente, llevar un registro, presentar informes semestrales e informar en caso de pérdida o derrame) 45 (Responsabilidad de manejarlos en forma tal que no contaminen los suelos, los subsuelos, el agua, el aire y los ecosistemas)	SI
			Reglamento para el manejo de residuos peligrosos industriales 27001	2 (El generador de desechos peligrosos será el responsable de garantizar que su tratamiento y disposición final)	SI
			Uso, manejo y conservación de suelos 7779	29 (Seguir las prácticas de buen manejo de suelos para evitar en ellos la lixiviación y acumulación de agrotóxicos y lixivados industriales)	SI

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
			Ley orgánica del ambiente 7554	68 (Evitar la contaminación del suelo por acumulación, almacenamiento, recolección, transporte o disposición final inadecuada de desechos de cualquier naturaleza)	SI
			Ley para la gestión integral de residuos 8839	14 (Contar y mantener actualizado un programa de manejo integral de residuos, si hay entrega de residuos a gestores autorizados, vigilar que esté autorizado para el manejo sanitario y ambiental adecuado)	SI
Generación de residuos ordinarios	Producto de realizar actividades diarias que permiten el funcionamiento de la maquinaria	Contaminación de suelo y visual		38 (Separar los residuos desde la fuente, clasificarlos, gestionar los residuos en forma tal que estos no pongan en peligro la salud o el ambiente, que no sean una molestia por malos olores, ruido o impactos visuales, llevar registro y hacer reportes) 45 (Responsabilidad de manejarlos en forma tal que no contaminen los suelos, los subsuelos, el agua, el aire y los ecosistemas)	SI
			Reglamento de higiene industrial 11492	46 (Los establecimientos industriales deberán evacuar sus basuras y desperdicios diariamente. La acumulación de estos, deberá hacerse en recipientes metálicos provistos de cierre hermético. Cuando los desechos se empleen en usos industriales, solo podrán permanecer más tiempo en recipientes herméticos, almacenados en lugares acondicionados)	SI
			Reglamento de centros de recuperación de residuos valorizables	5 (Deberá obtener el correspondiente permiso sanitario de funcionamiento del Ministerio) 8 (La instalación debe contar con las dimensiones y estipulaciones adecuadas) 9 (Debe haber un plan de manejo de residuos sólidos y líquidos no recuperables debidamente documentado)	SI

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
Potencial riesgo de derrame aceite en el suelo	A la hora de realizar cambios de aceite de maquinaria o emplear grasa en el uso o montaje de tuberías	Contaminación del suelo	Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados 37757	6 (Establece los valores de químicos que normalmente debe tener el suelo, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento) 7 (Establece los valores máximos permisibles de sustancias prohibidas por protocolos, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento)	SI
Potencial riesgo de derrame de lodos de perforación	Esto se da en la torre de enfriamiento por el diseño existente, hay salpicaduras constantes de lodos	Contaminación del suelo	Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados 37757	6 (Establece los valores de químicos que normalmente debe tener el suelo, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento) 7 (Establece los valores máximos permisibles de sustancias prohibidas por protocolos, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento)	SI
Generación de residuos especiales	Son producto de los talles de soldadura, mecánico y eléctrico así como de la producción de lodos	Contaminación visual, aire, suelo	Ley general de la salud 5395	239 (Tener permisos para manipulación de residuos por parte del Ministerio de Salud)	SI
				240 (Velar porque las operaciones que se realicen con los materiales eliminen el riesgo a la salud)	
				241 (Cumplir estrictamente con las disposiciones reglamentarias y con el rótulo obligatorio)	
				242 (Prohibida la venta a menores de edad o discapacitadas mentalmente)	
Reglamento general de seguridad e higiene de trabajo 1	32 (Los trapos y algodones entre otros, impregnados de aceite, grasa o sustancias fácilmente inflamables, así como los residuos de material o productos peligrosos, deberán depositarse en recipientes incombustibles provistos de cierre hermético y distribuidos adecuadamente en el local de trabajo)	SI			
	33 (Los productos o materias peligrosas deberán mantenerse en depósitos incombustibles fuera de los locales de trabajo y en lugares convenientemente aislados) 72 (Recipientes que contengan líquidos corrosivos, calientes o que en general ofrezcan peligro, y que no estén provistos de cubiertas adecuadas, deberán disponerse de manera tal que su borde superior esté por lo menos noventa centímetros sobre el suelo o plataforma en que hayan de colocarse los trabajadores encargados de los mismos)				
Reglamento sobre higiene industrial 11492	13 (Las industrias deben velar por no dañar de modo inmediato y grave la vida de los trabajadores que en ellas laboran, ya sea por la naturaleza de sus faenas o de los materiales empleados, elaborados o de desechos, o por el almacenamiento de sustancias tóxicas, corrosivas, inflamables o explosivas)	SI			

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
Generación de partículas en suspensión en el aire (cemento y esferilita)	Grandes nubes de cemento se generan cuando se realiza la corta de sacos de cemento para realizar la mezcla	Contaminación del aire	Ley general de la salud 5393	295 (Prohibida la descarga, emisión o emanación de contaminantes atmosféricos en proporciones prohibidas)	SI
			Ley orgánica del ambiente 7554	49 (El aire, en todo el territorio nacional, debe satisfacer, por lo menos, los niveles permisibles de contaminación fijados por las normas correspondientes)	SI
Inhalación y contacto de partículas cemento y aditivos en el personal	Grandes nubes de cemento se generan cuando se realiza la corta de sacos de cemento para realizar la mezcla	Afectación a la salud humana	Código de trabajo 2	193 (El patrono debe adoptar precauciones para proteger la vida, la salud y la moralidad de los trabajadores) 194(Obligación del patrono acatar y hacer cumplir las medidas que tiendan a prevenir los accidentes y enfermedades de trabajo) 214 (Lesiones que acarreen una grave mutilación o desfiguración se equiparán para efectos de su indemnización, a la incapacidad parcial permanente)	SI
			Ley de riesgos del trabajo 6727	193 (Obligación de asegurar a trabajadores contra riesgos) 214 (Indagar todas las circunstancias referentes a los riesgos del trabajo que ocurran a sus trabajadores y reportarlas al INS) 282 (Adoptar en los lugares de trabajo, las medidas para garantizar la salud ocupacional de los trabajadores) 296 (Si por índole del trabajo, los trabajadores deben comer en los centros donde prestan los servicios, el patrono deberá instalar locales que sirvan como comedor y los mantendrá en buenas condiciones de limpieza)	SI
Generación de efluentes con cemento	Se generan debido al lavado de mangueras en el proceso de preparación de las mezclas de cemento	Contaminación del suelo y agua	Ley conservación de vida silvestre 7317	128 (Instalaciones, deberán estar provistas de sistemas de tratamiento para impedir que los desechos sólidos o las aguas contaminadas de cualquier tipo destruyan la vida silvestre)	NO

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
Consumo y manejo de diésel	Consumo uso de diésel para la generación de energía para el alumbrado, funcionamiento de labores oficinas y de motores de combustión de maquinaria y cassetas de generación	Contaminación del aire	Ley general de la salud 5393	294 (Contaminación de la atmósfera, el deterioro de su pureza por la presencia de partículas sólidas, polvo, humo, vapor, gases, en concentraciones superiores a lo establecido)	SI
				295 (Prohibida la descarga, emisión o emanación de contaminantes atmosféricos de naturaleza y en proporciones prohibidas)	
				49 (Los gases de efecto invernadero y los que afecten la capa de ozono, deben reducirse y controlarse, de manera que se asegure la buena calidad del aire)	
				1 (Listado con la información sobre el equipo industrial con que cuenta, por tipo de combustible y el consumo anual estimado)	
Potencial riesgo de accidente de los trabajadores	Están expuestos a altas alturas y manejar maquinaria muy pesada durante toda la jornada laboral	Afectación a la salud humana	Código de trabajo 2	2 (Cuantificar su emisión de gases de efecto de invernadero, debiendo elaborar una estrategia para lograr reducir este aporte a través de un programa de conservación de energía o captura de gases)	SI
				193 (El patrono debe adoptar precauciones para proteger la vida, la salud y la moralidad de los trabajadores)	
				194(Obligación del patrono acatar y hacer cumplir las medidas que tiendan a prevenir los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales)	
				214 (Lesiones que acarreen una grave mutilación o desfiguración se equiparán para efectos de su indemnización, a la incapacidad parcial permanente)	
Potencial riesgo de accidente de los trabajadores	Están expuestos a altas alturas y manejar maquinaria muy pesada durante toda la jornada laboral	Afectación a la salud humana	Ley general de la salud 5395	18 (Obligación del personal evitar, diligentemente, los accidentes personales y los de las personas a su cargo, cumplir las disposiciones de seguridad, especiales o generales)	SI
				193 (Obligación de asegurar a trabajadores contra riesgos del trabajo)	
				214 (Indagar todas las circunstancias referentes a los riesgos del trabajo que ocurran a sus trabajadores y reportarlas al INS)	
				282 (Adoptar en los lugares de trabajo, las medidas para garantizar la salud ocupacional)	
Potencial riesgo de accidente de los trabajadores	Están expuestos a altas alturas y manejar maquinaria muy pesada durante toda la jornada laboral	Afectación a la salud humana	Ley de riesgos del trabajo 6727	296 (Si por índole del trabajo, los trabajadores deben comer en los centros donde prestan los servicios, el patrono deberá instalar locales que sirvan como comedor y los mantendrá en buenas condiciones de limpieza)	SI

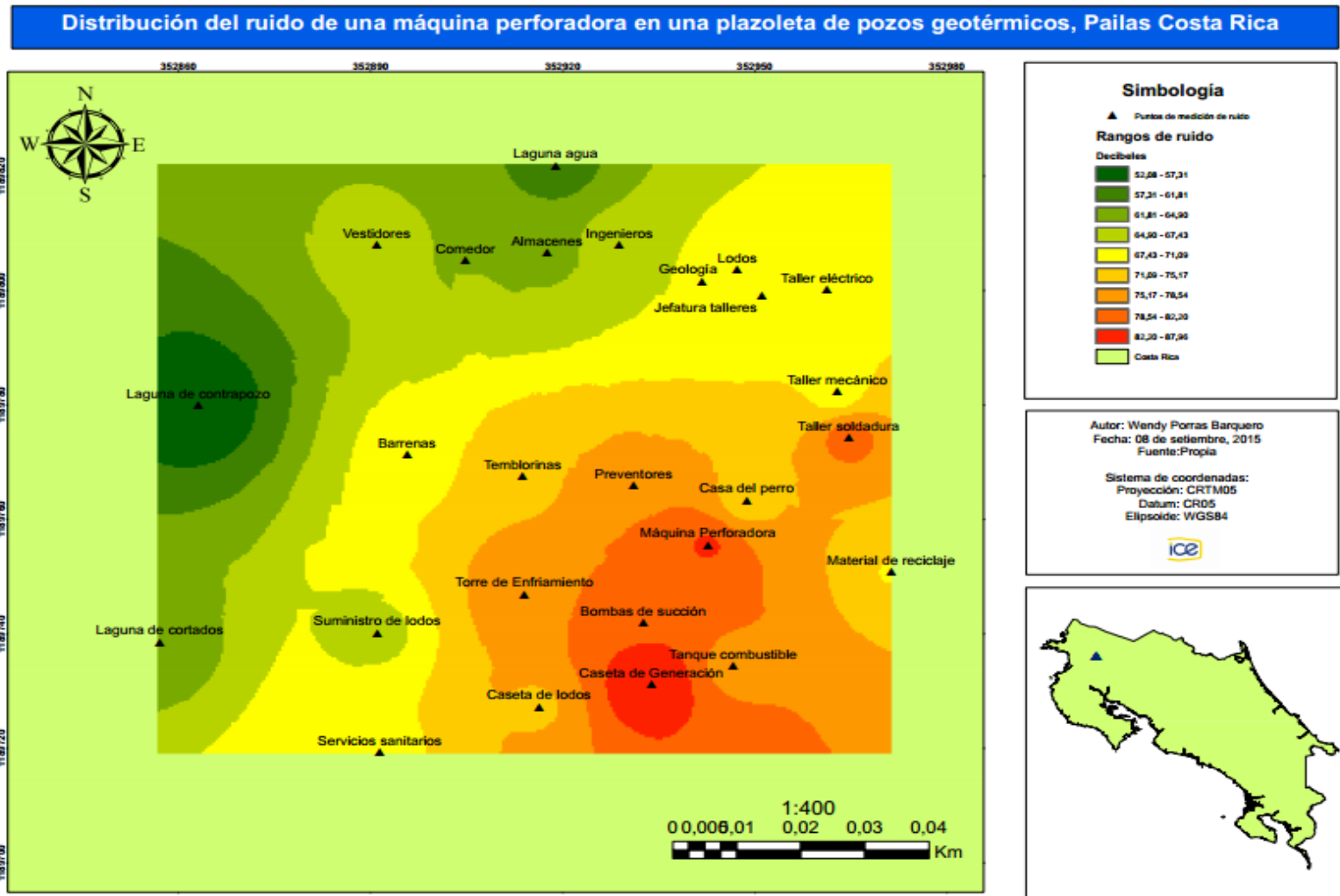
AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
Potencial riesgo de accidente de los trabajadores	Están expuestos a altas alturas y manejar maquinaria muy pesada durante toda la jornada laboral	Afectación a la salud humana	Ley Nacional de emergencias y prevención de riesgo 8488	12 (Establecer un plan de prevención y atención de emergencias que considere la estructura de coordinación interna y procedimientos correspondientes)	SI
			Ley general de emergencias y prevención de riesgo 8488	12 (Establecer un plan de prevención y atención de emergencias que considere la estructura de coordinación interna y procedimientos correspondientes)	SI
Potencial riesgo de explosión del tanque de almacenamiento de diesel	A la hora de almacenar un tanque de diésel el riesgo siempre está presente	Contaminación del aire, suelo y afectación humana y fauna	Ley general de emergencias y prevención de riesgo 8488	12 (Establecer un plan de prevención y atención de emergencias que considere la estructura de coordinación interna y procedimientos correspondientes)	SI
Potencial de derrame de diesel	A la hora de traspasar el diesel del tanque de almacenamiento a los tanque de las maquinarias, siempre hay un riesgo latente	Contaminación del suelo	Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados 37757	6 (Establece los valores de químicos que normalmente debe tener el suelo, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento)	SI
				7 (Establece los valores máximos permisibles de sustancias prohibidas por protocolos, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento)	
Emisión de ruido	Durante las horas de perforación debido a la maquinaria empleada es bastante ruidosa	Contaminación sónica	Reglamento para contaminación y control de ruido	5 (No causar o permitir la producción o emisión de cualquier ruido en violación de las leyes existentes) 20 (No sobre pasar los límites permisibles)	SI

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
Generación de CO ₂	Estos son los principales compuestos generados por los pozos durante la realización de prueba de producción	Contaminación de aire	Ley general de la salud 5393	294 (Contaminación de la atmósfera, el deterioro de su pureza por la presencia de partículas sólidas, polvo, humo, vapor, gases, materias radiactivas en concentraciones superiores a lo establecido)	SI
			Ley orgánica del ambiente 7554	295 (Prohibida la descarga, emisión o emanación de contaminantes atmosféricos de naturaleza y en proporciones prohibidas)	
Generación de H ₂ S	Estos son los principales compuestos generados por los pozos durante la realización de prueba de producción	Contaminación del aire	Ley general de la salud 5393	294 (Contaminación de la atmósfera, el deterioro de su pureza por la presencia de partículas humo, vapor, gases, materias radiactivas en concentraciones superiores a lo establecido)	SI
			Ley orgánica del ambiente 7554	295 (Prohibida la descarga, emisión o emanación de contaminantes atmosféricos de naturaleza y en proporciones prohibidas)	
			Reglamento sobre inmisión de contaminantes 30221	49 (Los gases de efecto invernadero y los que afecten la capa de ozono, deben reducirse y controlarse, de manera que se asegure la buena calidad del aire)	
Generación de aguas geotérmicas	Producto inevitable de la perforación con lodos y en una prueba de producción de pozos	Contaminación del suelo y aguas subterráneas	Ley general de la salud 5395	49 (El aire, en todo el territorio nacional, debe satisfacer, por lo menos, los niveles permisibles de contaminación fijados por las normas correspondientes)	SI
			Ley conservación de vida silvestre 7317	5 (Cumplir con los valores de referencia de calidad del aire)	
				291 (Prohibido descargar residuos industriales en el alcantarillado sanitario sin autorización previa)	SI
				128 (Instalaciones, deberán estar provistas de sistemas de tratamiento para impedir que los desechos sólidos o las aguas contaminadas de cualquier tipo destruyan la vida silvestre)	SI

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
Potencial riesgo de daño de flora con salida de vapor de agua caliente	A la hora de hacer la prueba de producción se emiten gases al aire libre sin poder controlar La orientación en la que van	Afectación de la flora alemana a los pozos	Ley de Conservación y Uso de los Recursos Naturales 7788	1 (Conservar la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos)	SI
Potencial riesgo de derrame de thinner y pintura	Empleado normalmente en el taller de soldadura.	Contaminación de suelo	Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados 37757	6 (Establece los valores de químicos que normalmente debe tener el suelo, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento) 7 (Establece los valores máximos permisibles de sustancias prohibidas por protocolos, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento)	SI
Potencial riesgo de ahogamiento de los animales en lagunas	Los animales llegan a tomar agua y al no haber protección se ahogan	Afectación de la fauna	Ley de conservación y Uso de los Recursos Naturales 7788	1 (Conservar la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos)	SI
Potencial riesgo de derrame de aguas geotérmicas por ruptura de membrana permeable	Es un riesgo que siempre se corre pues el material de la membrana es un poco delicado	Contaminación del suelo y agua subterránea	Ley general de la salud 5395 Ley orgánica del ambiente 7554	273 (Es prohibido contaminar los abastos de agua, dañar, obstruir parcial o totalmente, los sistemas de abastecimiento de potable destinada a la población) 275 (Es prohibido contaminar las aguas superficiales, subterráneas directa o indirectamente) 51 (Mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de las cuencas hidrográficas) 67 (adoptar las medidas adecuadas para impedir o minimizar la contaminación o el deterioro sanitario de las cuencas hidrográficas)	SI SI

AA	Situación	IA	Ley aplicable	Número de artículo/Comentario	Se cumple
Potencial riesgo de derrame de aditivos para la elaboración de los lodos de perforación	Hay un lugar destinado para el almacenaje, el cual no cuenta con ningún tipo de protección	Contaminación del suelo	Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados 37757	6 (Establece los valores de químicos que normalmente debe tener el suelo, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento) 7 (Establece los valores máximos permisibles de sustancias prohibidas por protocolos, un valor por encima sin justificación científica provoca el incumplimiento)	SI
Generación de aguas con cemento en lagunas de contrapozo	Producto de la cementación de la tubería de perforación	Contaminación de aguas	Ley general de la salud 5395	291 (Prohibido descargar residuos industriales en el alcantarillado sanitario sin autorización previa)	SI
			Ley de conservación de vida silvestre	128 (Instalaciones, deberán estar provistas de sistemas de tratamiento para impedir que los desechos sólidos o las aguas contaminadas de cualquier tipo destruyan la vida silvestre)	SI
Potencial derrame de aguas de contrapozo	Es un riesgo que siempre se corre pues el material de la membrana es un poco delicado	Contaminación de aguas subterráneas y suelo	Ley general de la salud 5395	273 (Es prohibido contaminar los abastos de agua, dañar, obstruir parcial o totalmente, los sistemas de abastecimiento de potable destinada a la población) 275 (Es prohibido contaminar las aguas superficiales, subterráneas directa o indirectamente)	SI
			Ley orgánica del ambiente 7554	51 (Mantener el equilibrio del sistema agua, protegiendo cada uno de los componentes de las cuencas hidrográficas) 67 (adoptar las medidas adecuadas para impedir o minimizar la contaminación o el deterioro sanitario de las cuencas hidrográficas)	SI
Generación de cortados geotérmicos	Producto inevitable de la perforación del pozo	Contaminación visual, suelo	Ley de conservación de vida silvestre	128 (Instalaciones, deberán estar provistas de sistemas de tratamiento para impedir que los desechos sólidos o las aguas contaminadas de cualquier tipo destruyan la vida silvestre)	SI

APÉNDICE 5: MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE RUIDO EN UNA PLAZOLETA DE PERFORACIÓN



APÉNDICE 6. REGISTRO DE DECIBELES OBTENIDO EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE LA PLAZOLETA DE PERFORACIÓN

Cuadro A.6.1 Promedio de las medidas de decibeles tomadas con el sonómetro modelo SOUNDPRO SE/DL en los diferentes puntos de una plazoleta de perforación a las 9:30a.m.

Punto dentro de plazoleta de perforación	Promedio de medidas ($\pm 0,1$) dB
Vestidores	65,7
Comedor	64,8
Almacenes	63,9
Ingenieros	66,3
Geología	67,6
Lodos	69,5
Jefatura de talleres	67,9
Taller eléctrico	67,7
Taller mecánico	68,6
Taller soldadura	80,9
Material de reciclaje	70,9
Tanque de combustible	76,8
Servicios sanitarios	69,9
Laguna cortados	62,6
Laguna de contrapozo	52,1
Suministros de lodos	65,5
Barrenas	68,2
Laguna agua	58,7
Caseta de lodos	74,5
Torre de enfriamiento	77,6
Temblorinas	73,5
Bomba succión 3	81,9
Caseta de generación	87,9
Máquina perforadora	82,8
Casa del perro	72,9
Preventores	78,1

9. ANEXOS

ANEXO 1. CUANTIFICACIÓN APROXIMADA DE ENTRADAS Y SALIDAS DE
LOS PROCESOS PARA LA CONTRUCCIÓN DE UN POZO

Cuadro B.1.1. Cuantificación aproximada de materia prima necesaria para la construcción un pozo con cuatro etapas. Tomado de Apoyo Administrativo de perforación Profunda, C.S.R.G. (2015)

Proceso	Entrada	Cantidad por pozo
Alimentación de energía de plataforma de perforación, Perforación aireada, presurización	Diésel	37569 l
	Bicarbonato de sodio	97 kg
Fluidos de perforación	Bentonita	31674 kg
	Ligno dispersante	172 Kg
	Soda Caustica	339 kg
	New Drill	61 kg
	All Temp	9399 kg
	Cloruro de calcio	91 kg
	Cal	953 kg
	Unical	340 kg
	Unisteam	38 l
	Xan-plex D	111 kg
	Max Guard	416 l
	N-Seal	44 kg
	Polytherm	68 kg
	Cementación	Mezcla de cemento tipo A
Mezcla de cemento tipo G		17 413 kg
Perforación del Pozo, I Etapa, II Etapa, III Etapa y IV Etapa	Aceite	15800 litros
	Grasa	4094 g
	Lubricante	906 litros
	Waype	15 kg
	Absorbentes	5 unidades
	Thinner	26 l
	Cables eléctricos	823 m
	Fluorescentes para lámparas	10 unidades
	Fluorescentes normal	7 unidades
	Tape	118 m
	Soldadura	25 kg

Proceso	Entrada	Cantidad por pozo
Perforación del Pozo, I Etapa, II Etapa, III Etapa y IV Etapa	Pintura en aerosol	7 unidades
	Pintura	39 l
	Discos para desgaste	13 unidades
	Discos para cortar metal	43 unidades
	Cepillos de acero	7 unidades
	Láminas de acero	10 unidades
	Barrenas	9 unidades
	Tubos perforación	28 unidades
	Contactores	4 unidades
	Desinfectante	248.7 l
	Cloro (hipocorito 12%)	77.8 l
	Jabón polvo	795.9 l
	Gel para manos	73.53 l
Perforación del Pozo, I Etapa, II Etapa, III Etapa y IV Etapa, Presurización del pozo, perforación aireada	Agua	181440 m ³

Cuadro B.1.2. Cuantificación de residuos generados en las diferentes áreas y procesos de perforación profunda para la construcción de un pozo. Tomado del Centro de Acopio del C.S.R.G. (2015)

Área/Proceso	Residuos	Clasificación/Tipo	Cantidad por pozo
Cementación, Fluidos de perforación	Cartón sucio	Especial	1535 kg
	Metal (Chatarra)	Especial	6154 kg
Perforación del Pozo, I Etapa, II Etapa, III Etapa y IV Etapa	Cobre	Especial	26 kg
	Residuos de cortados	Especial	154 m ³
	Textiles con hidrocarburos o aceites	Peligroso	402 kg
	Fluorescentes	Peligroso	4 kg
	Aceite de motor	Peligroso	1319 l
	Cementación, Fluidos de perforación	Plástico contaminado	Peligroso
Plástico sucio		Especial	26 kg
Madera (tarimas)		Especial	1961 kg
Fluidos de perforación, Perforación del Pozo, I Etapa, II Etapa, III Etapa y IV Etapa	Estañones metálicos	Ordinario	267 kg
	Estañones de plástico	Ordinario	251 kg
	Baterías	Peligroso	156 kg
	Filtro aceite	Peligroso	39 kg

Área/Proceso	Residuos	Clasificación/Tipo	Cantidad por pozo
Perforación del Pozo, I Etapa, II Etapa, III Etapa y IV Etapa	Filtro aire	Especial	23 kg
	Recipientes con pintura	Peligroso	2 kg
	Ruido	---	45 dB
	CO ₂	---	278 ppm
	H ₂ S	---	0.002 ppm

ANEXO 2. MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES DEL C.S.R.G. CÓDIGO F01-GS-12

Cuadro B.2.1. Plantilla de Excel de la matriz del C.S.R.G. para la valoración de aspectos ambientales. Tomado de C.S.R.G. (2015)

No.	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Criterios (Significancia del Impacto)				Magnitud	Nivel Significancia
			Extensión	Vulnerabilidad	Severidad	Frecuencia		
	Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que pueda interactuar con el medio ambiente	Cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total y parcial de los aspectos ambientales	Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno de la empresa.	La vulnerabilidad se refiere a qué tan preparado está el centro de trabajo y que acciones de monitoreo y control se están efectuando en el centro de trabajo para mitigar los impactos ambientales que se derivan de sus actividades.		La frecuencia se refiere a que tan común es la ocurrencia del aspecto	La cantidad absoluta es un subcriterio de valoración cuantitativo y se refiere a la cantidad o volumen de un determinado aspecto, sea este de generación o de consumo	

Donde:

Para calcular la severidad y magnitud se emplean las siguientes ecuaciones;

$$\text{Severidad} = \text{Extensión} \times \text{Vulnerabilidad} \dots \text{Ecuación B.2.1}$$

$$\text{Magnitud} = \text{Frecuencia} \times \text{Cantidad Absoluta} \dots \text{Ecuación B.2.2}$$

Y para obtener los valores de extensión, vulnerabilidad, frecuencia y cantidad absoluta, se elige una opción la cual posee un valor específico dependiendo de la que se elija, tal y como se muestran en los siguientes cuadros:

Cuadro B.2.2. Significancia de criterio extensión. Tomado del C.S.R.G. (2015)

Extensión	Valor
Abarca o extiende a niveles globales o regionales	5
Implica un calentamiento global (por ejemplo, emisiones de: CO ₂ , Metano, Óxido Nitroso, CFC,etc)	5
Es un desecho peligroso o un residuo de manejo especial	5
Desecho peligroso (fluorescentes)	5
Desecho peligroso (recipientes y materiales impregnados)	5
Es un consumo de recursos no renovables o sobre explotados	5
Consumo de hidrocarburos	5
Consumo de aguas	5
Es una generación de aguas residuales especiales.	5
Su impacto se extiende a las áreas aledañas	3
Afecta el suelo, el agua o la flora y fauna en el Centro de trabajo y lugares aledaños	3
Es un consumo de recursos no sobre explotados o reciclados	3
Es un desecho inerte dispuesto en relleno sanitario	3
Es un consumo de productos químicos	3
Es un consumo de papel	3
Es un consumo de energía eléctrica	3
Es un consumo de plástico	3
Su impacto es a lo interno de la organización	1
Es un residuo que se va a reciclar	1
Es un desecho de un material reciclado	1
Es un residuo que va a ser reutilizado	1
Es un derrame “in situ” (que se presenta sobre una superficie de concreto o piso y que se puede recoger fácilmente)	1

Cuadro B.2.3. Significancia de criterio vulnerabilidad. Tomado del C.S.R.G. (2015)

Vulnerabilidad	Valor
No se monitorea ni controla el aspecto	3
Se monitorea o controla el aspecto, y toma acciones correctivas para mitigar el impacto	2
Se monitorea o controla el aspecto e implementa acciones preventivas para disminuir el impacto	1

B.2.4. Significancia de criterio frecuencia. Tomado del C.S.R.G. (2015)

Frecuencia	Valor
El aspecto ambiental ocurre todos los días	4
El aspecto ambiental ocurre todos los meses	3
El aspecto ambiental ocurre una o varias veces por año.	2
Ha ocurrido en el pasado, pero no durante el último año, o nunca ha ocurrido	1

Cuadro B.2.5. Significancia de criterio cantidad absoluta. Tomado del C.S.R.G. (2015)

Cantidad absoluta	Valor
No se presenta una disminución del aspecto respecto al periodo del año anterior o es menor o igual al 1%	3
Disminución del aspecto respecto al periodo del año anterior entre un 1,1% y un 5%	2
Disminución del aspecto respecto al periodo del año anterior mayor al 5%	1

Al obtener los valores y realizar las multiplicaciones para obtener el valor de severidad y magnitud, se buscan los resultados obtenidos en el Cuadro B.2.6 y se elige cuáles son las palabras con el valor obtenido.

Cuadro B.2.6. Significancia de criterio severidad y magnitud. Tomado del C.S.R.G. (2015)

Valor severidad obtenido	Significancia de severidad	Valor magnitud obtenido	Significancia de magnitud
1	Bajo	0	Bajo
2	Bajo	1	Bajo
3	Bajo	2	Bajo
5	Medio-Bajo	3	Medio-Bajo
6	Medio-Bajo	4	Medio-Bajo
9	Medio-Alto	6	Medio-Alto
10	Medio-Alto	8	Medio-Alto
15	Alto	9	Alto
		12	Alto

Con el conjunto de palabras obtenidas de cada criterio, se busca la casilla donde ambos coinciden y se elige la palabra:

Cuadro B.2.7. Significancia acumulada de del aspecto ambiental. Tomado del C.S.R.G. (2015)

Magnitud	Alto	Bajo Alto	Medio-Bajo Alto	Medio-Alto Alto	Alto Alto
	Medio-Alto	Bajo Medio-Alto	Medio-Bajo Medio-Alto	Medio-Alto Medio-Alto	Alto Medio-Alto
	Medio-Bajo	Bajo Medio-Bajo	Medio-Bajo Medio-Bajo	Medio-Alto Medio-Bajo	Alto Medio-Bajo
	Bajo	Bajo Bajo	Medio-Bajo Bajo	Medio-Alto Bajo	Alto Bajo
	Bajo	Medio-Bajo	Medio-Alto	Alto	

Severidad

Posteriormente con el resultado de significancia acumulada obtenido se busca en el Cuadro B.2.2 y se obtiene el nivel de significancia del aspecto.

Cuadro B.2.8. Significancia final del aspecto ambiental. Tomado del C.S.R.G. (2015)

Nivel de Significancia acumulada	Color	Significancia final
Bajo Bajo Alto Bajo Bajo Alto Bajo Medio-Alto Bajo Medio-Bajo Medio-Alto Bajo Medio-Bajo Bajo	Verde	Baja
Medio-Alto Medio-Bajo Medio-Bajo Medio-Alto Medio-Bajo Medio-Bajo	Amarillo	Moderada
Alto Alto Alto Medio-Alto Alto Medio-Bajo Medio-Alto Alto Medio-Alto Medio-Alto Medio-Bajo Alto	Rojo	Alta

Este resultado se pondrá en la casilla de nivel de significancia del cuadro B.2.1.

ANEXO 3. LEYES EMPLEADAS PARA LA EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO LEGAL DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES EN COSTA RICA

Las leyes, normas y reglamentos empleadas que fueron tomadas de la plataforma virtual de la empresa Enlace son:

- 2 Ley Código de trabajo
- 276 Ley de aguas
- 5395 Ley general de la salud
- 6727 Ley riesgos del trabajo
- 7317 Ley de Conservación de la Vida Silvestre
- 7554 Ley orgánica del ambiente
- 7575 Ley forestal
- 7778 Ley uso, manejo y conservación de suelos
- 7788 Ley Conservación y Uso de los Recursos Naturales
- 8488 Ley nacional de emergencia y prevención de riesgo
- 8839 Ley gestión integral de residuos
- 23537 Normas Control Consumo Combustible y Emisiones
- 1 Reglamento de Seguridad e Higiene de Trabajo
- 11492 Reglamento Sobre Higiene Industrial
- 27001 Reglamento para el manejo de los desechos peligrosos industriales
- 28718 Reglamento para el Control de Contaminación por Ruido
- 30221 Reglamento sobre Inmisión de Contaminantes Atmosféricos
- 30965 Reglamento de desechos bioinfecciosos
- 32868 Canon por concepto de aprovechamiento de aguas
- 35906 Reglamento Centros Recuperación Residuos Valorizables
- 37757 Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación
- 37788 Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos

ANEXO 4. EQUIPO Y MAQUINARIA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS DE LOS AAS

Medidor de agua: El medidor de agua tipo propela, modelo MP Hidrónico (ver Figura B.3.1) cumple con todas las características descritas en la discusión, además posee con una batería de litio con duración mínima de 7 años, propela de plástico de alto impacto, un error de 2% en todo el rango de medición, protección de la carátula con lámina de Iexán® policarbonato de 9 mm de espesor, anti-impacto. Puede trabajar con una temperatura de operación 60°C, presión máxima de operación 150 PSI o 300 PSI. La memoria interna integrada posee una capacidad de 2730 registros de almacenamiento de gasto y volumen con la frecuencia de muestreo variable de 2 segundos a 24 horas. El medidor debe de estar protegido de arena, piedras y de toda clase de materias fibrosas con un filtro adaptado para evitar daños del medidor (Agua y aire sistemas S.A., 2014).



Figura B.3.1. Medidor de agua tipo propela, modela MP Hidrónico. Tomado de Agua y aire sistemas S.A. (2014)

Máquina automática de corta de sacos de cemento: La máquina descrita en la discusión es la Automatic bag splitter, modelo RSA de la empresa Wangroup. (Figura B.3.2)



Figura B.3.2. Automatic bag splitter, RSA. Tomado de Wangroup. (2001)



Figura B.3.3. Tornillo de cuchillas que rompen los sacos de cemento. Tomado de Wangroup (2001).

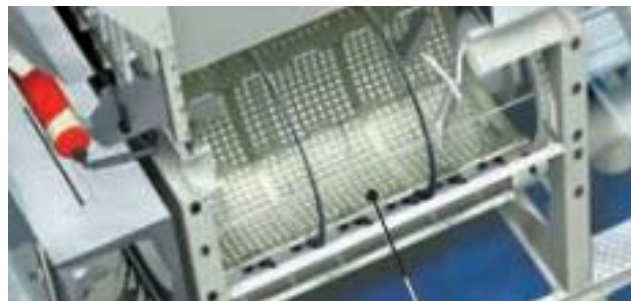


Figura B.3.4. Pantalla giratoria o cámara de cribado de la Automatic bag splitter. Tomado de Wangroup (2001).

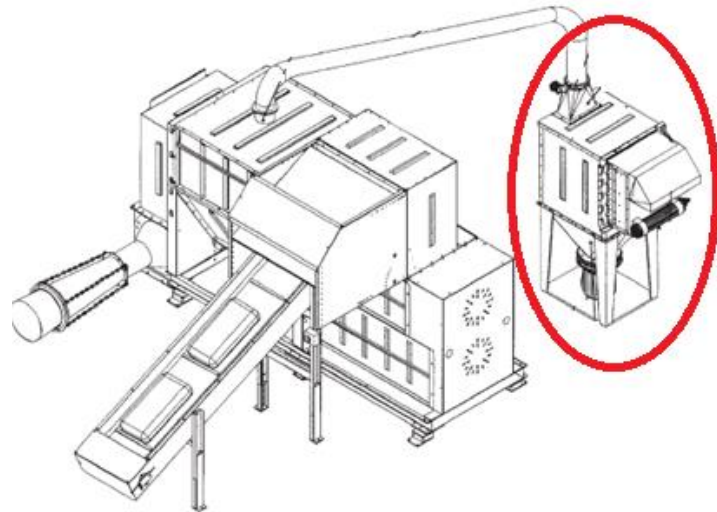


Figura B.3.5. Filtro externo de la Aunomatic bag splitter. Adaptado de Wangroup. (2001).

Aislante de ruido: El aislante de ruido y vibración que se propone es la fibra de vidrio E de la empresa UCERSA S.A. (ver Figura B.3.6). El aislante cumple con todas las características descritas en la discusión además su presentación es en forma de fieltro (100% fibra de vidrio E) agujado revestido mecánicamente por una cara de velo de vidrio negro y por una cara opuesta de aluminio en relieve. Resiste temperaturas desde los -10°C hasta los 650°C y posee un grosor de 6 mm, altura de 1 mm y viene en rollos de 20 metros (UCERSA S.A, 2015).



Figura B.3.6. Aislante de ruido de fibra de vidrio E de la empresa UCERSA. Tomado de UCERSA. S.A. (2015).

Bolsas filtrantes: Las bolsas que se describen en la discusión son la imagen de la Figura B.3.7 y B.3.8.



Figura B.3.7. Bolsas filtrantes de efluentes con cemento producto del lavado de maquinaria y equipo de cementación. Tomado de la Environmental Protection Agency. (2015).



Figura B.3.8. Instalación de bolsas filtrantes. Tomado de la Environmental Protection Agency. (2015).

ANEXO 5. EQUIPO EMPLEADO EN LA METODOLOGÍA PARA ELABORAR EL MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE RUIDO



Figura B.4.1 GPS Trimble Juno 3b. Tomado de C.S.R.G. (2015).



Figura B.4.2. Sonómetro modelo SOUNDPRO SE/DL. Tomado de C.S.R.G. (2015)