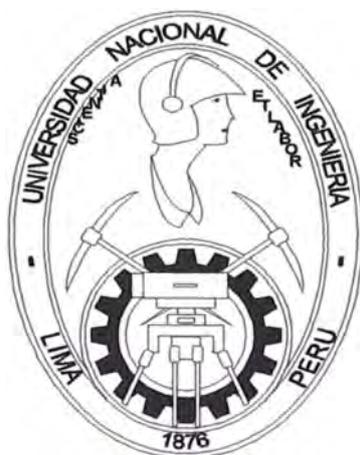


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO Y  
PETROQUIMICA**



***“EVALUACION TECNICA Y DISEÑO DE  
REMEDIACION PARA LA  
DESCONTAMINACION DE SUELO Y NAPA  
FREATICA EN LA PLANTA DE LUBRICANTES  
PETROLUBE MOBIL”***

**TESIS :  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO PETROQUIMICO**

**PRESENTADO POR :  
DAVID ALFREDO ALEJOS BRAVO**

**Promoción 1995**

**LIMA- PERÚ**

**2,000**

**DEDICATORIA**

A mis padres **ROSA Y EULOGIO**,  
por su amor, comprensión y apoyo  
que hicieron posible la culminación  
de mi carrera profesional

## INDICE GENERAL

### I. INTRODUCCIÓN

I.1	Antecedentes	4
I.2	Objetivo	5

### II. TRABAJOS DE CAMPO

II.1	Recopilación de información.	6
II.2	Monitoreo de vapores orgánicos.	6
II.3	Campaña de perforación de sondeos e instalación de piezómetros.	8
II.4	Análisis del contenido de CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> en los suelos.	10
II.5	Mediciones de producto libre y niveles freáticos.	11
II.6	Ensayo "baildown".	13
II.7	Realización de ensayos de permeabilidad.	15
II.8	Toma de muestras de suelos y aguas.	16
II.8.1	Toma de muestras.	16
II.8.2	Programa Analítico.	17
	II.8.2.1 Suelos	
	a. pH de Hidrocarburos Totales.	
	b. Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos	
	c. Hidrocarburos Aromáticos Volátiles.	
	d. Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles	
	e. Policlorobifenilos	
	f. Metales	
	g. Materia Orgánica y Granulometría.	
	II.8.2.2 Aguas	
	a. Hidrocarburos Totales, pH y Conductividad.	
	b. Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos	
	c. Hidrocarburos Aromáticos volátiles	
	d. Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles	

- e. Policlorobifenilos
- f. Metales
- g. Ensayos sobre el Producto Libre.

II.9 Volúmenes de medios contaminados

**III. ESTUDIOS DE GABINETE**

III.1	Información específica referente a la planta	27
III.1.1	Descripción de la Planta	30
III.1.2	Proceso de Producción	30
III.1.3	Tratamiento de líquidos residuales	30
III.1.4	Tratamiento de sólidos residuales	31
III.1.6	Posibles Fuentes de Contaminación Existentes en el pasado	32
III.1.7	Fuentes de Contaminación activa son posterioridad al 30 de Setiembre de 1996	32
III.2	Entorno Industrial y social	33
III.2.1	Entorno Industrial	34
III.2.2	Entorno Social	34
III.3	Entorno Físico	37
III.3.1	Geología	37
III.3.2	Hidrogeología	38
III.3.3	Clima	40
III.4	Entorno biológico	41

**IV. ANALISIS DE RIESGOS**

IV.1	Análisis de riesgos para la salud humana	48
IV.2	Análisis de riesgos para el entorno.	50
IV.3	Valores de Saneamiento Permisibles	52

**V. ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO**

V.1	Descripción de las diferentes alternativas de saneamiento	54
V.1.1	Tratamiento biológico "in situ" para suelo	55

V.1.2	Tratamiento físico/químico “in situ” para suelo.	58
V.1.3	Tratamiento biológico “ex situ” para suelos sedimentos y lodos.	59
V.1.4	Tratamiento térmico “ex situ” para suelos	61
V.1.5	Retirada a Vertedero de Seguridad o Planta de Tratamiento.	62
V.1.6	Atenuación Natural para suelos y aguas subterráneas	62
V.1.7	Tratamiento biológico “in situ” para aguas subterráneas.	63
V.1.8	Tratamiento físico/químico “in situ” para aguas subterráneas.	64
V.1.9	Recuperación del producto libre en flotación sobre el agua subterránea	66
V.1.10	Barreras de contención	
V.2	Selección de la Técnica de Saneamiento	68
V.2.1	Resumen de Las Técnicas Consideradas	68
V.2.2	Suelo contaminado somero y Profundo	71
V.2.3.	Técnicas para la recuperación de producto libre.	73
V.2.4	Saneamiento del agua subterránea	74
<b>VI.</b>	<b>REMEDIACIÓN PROPUESTA</b>	
VI.1	Suelos contaminados con hidrocarburos	75
VI.2	Producto libre sobre el nivel freático	76
VI.3	Tratamiento de la Napa Freática	76
VI.4	Tratamiento Agua subterránea contaminada	79
<b>VII</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>83</b>
<b>VIII</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>90</b>

## **I INTRODUCCION**

### **I.1 ANTECEDENTES**

Con fecha 30 de Setiembre de 1996, Petróleos del Perú S.A. (PETROPERU) vendió a Mobil Oil del Perú (Compañía Comercial) S.A. el 100% de las acciones de la empresa PETROLUBE S.A. (PETROLUBE). Las instalaciones de PETROLUBE incluyen la Planta Petrolube-Callao, en la que se producen distintos tipos de lubricantes.

Previo a este acuerdo, y en cumplimiento de lo dispuesto en el Título XV del Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de hidrocarburos, aprobado por Decreto Supremo N° 046-93-EM, PETROPERU presentó para su aprobación por la Autoridad Ambiental (Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas), el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental PAMA, para la Planta Petrolube-Callao, en el cual se describen las situaciones negativas para el medio ambiente, así como unos programas de adecuación para minimizar las mismas.

De acuerdo con su naturaleza, los desembolsos para llevar a cabo el PAMA se dividen en los siguientes conceptos: remediación, inversión (adecuación propiamente dicha) y gastos.

Por otra parte, y dado que el PAMA fue preparado en 1994, PETROLUBE y PETROPERU acordaron realizar un nuevo y exhaustivo estudio ambiental en la Planta Petrolube-Callao, incluyendo sus tuberías al Muelle N° 4-B, para determinar su situación en materia ambiental al 30 de setiembre de 1996, y detectar eventuales daños o contaminación ambiental no contemplados en el PAMA, siempre que aquellos daños o contaminación ambiental estén considerados como tales según la Legislación Peruana vigente.

## **I.2 OBJETIVO**

El objetivo perseguido con el presente trabajo consistió en determinar la situación ambiental del subsuelo de la Planta Petrolube-Callao al 30 de Setiembre de 1996, establecer las posibles causas del daño ambiental hallado y proponer los métodos de remediación considerados más eficaces. Para ello fue necesario realizar los trabajos de investigación

1. Definir el medio físico, la vulnerabilidad del mismo y su entorno, donde se sitúan los emplazamientos contaminados.
2. Caracterizar los tipos de contaminantes y sus efectos sobre los distintos medios.
3. Definir el nivel ó grado de la contaminación presente.
4. Establecer los métodos adecuados para poder realizar la remediación, con estimados de costo y opción recomendada.

## **II. TRABAJO DE CAMPO**

### **II.1 RECOPIACION DE INFORMACION**

Consistió en recopilar la información de base necesaria para conocer los antecedentes históricos y las actividades desarrolladas en la actualidad en la Planta, el Marco Legal Peruano, el entorno social del emplazamiento y, en general, cualquier información disponible que pudiera ser de interés para la planificación de los trabajos a realizar para determinar la situación del suelo y subsuelo de la Planta Petrolube-Callao a fecha de 30 de setiembre de 1996.

A partir del 20 de octubre de 1997 y a lo largo de 3 semanas se hizo una primera recopilación de información sobre el emplazamiento, inspeccionando el mismo en varias ocasiones y manteniendo diferentes reuniones con personal de **PETROPERU y PETROLUBE** para recabar información acerca de la situación ambiental y las necesidades a tomar en cuenta para los trabajos de campos.

### **II.2 CAMPAÑA DE DETECCIÓN DE VAPORES ORGANICOS**

El objetivo fue evaluar cual es la distribución de los vapores orgánicos en el subsuelo de la Planta de Lubricantes, de tal manera que se obtenga un plano de su distribución que sirva como herramienta a la hora de definir la localización definitiva de los sondeos a perforar en el emplazamiento.

El planteamiento de este objetivo es una consecuencia del hecho de que las fracciones ligeras de los hidrocarburos tiene tendencia a liberar compuestos volátiles que alcanzan una dispersión mayor que la de las fases líquidas o sólidas, de manera que la detección de estos compuestos volátiles sirve como indicio para la localización de las otras fases de hidrocarburos que pueda existir en el subsuelo.

Para detectar la presencia de vapores orgánicos en el subsuelo de la Planta se hicieron 49 perforaciones y en cada una de ellas se aplicó un aparato detector llamado "PID" (Photo Ionization Detector'), con el que se obtiene una lectura total de los compuestos orgánicos volátiles en cada perforación.

En total se hicieron 49 perforaciones en el interior de la Planta. En cada una de las perforaciones estaba previsto realizar la medición de vapores a uno y dos metros de profundidad. En varias, sin embargo, no se consiguió llegar a los dos metros de profundidad debido a la presencia de antiguas losas bajo el pavimento, piedras o escombros enterrados.

El **PID** lleva una bomba incorporada que permite la extracción de los vapores orgánicos a través del tubo de teflón antes mencionado. Una vez en el interior del zapato, estos vapores son sometidos al paso de un rayo de luz con una intensidad de 10,6 ve, que ioniza los electrones de los vapores, es decir, saca los electrones que tienen un potencial de ionización menor que 10.6eV fuera de sus órbitas y, a continuación, estos electrones son derivados hacia una cámara de detección en la que son proyectados contra una pantalla en la que se cuantifica el número de impactos. Internamente el aparato traduce el número de impactos dando lugar a una lectura del total de gases medidos en partes por millón, que aparece en el visor del equipo. Esta concentración en partes por un millón se refiere a un patrón de calibración que, en este caso, fue de 100 partes por millón del gas isobutileno. Se calibró el PID cada mañana a lo largo de esta investigación. Durante estas calibraciones se pudo comprobar que el PID no sufrió en ningún momento una descalibración significativa.

En cada una de las profundidades a las que se midió la concentración de vapores orgánicos se tomaron lecturas del máximo puntual que se produce al conectar la sonda al tubo de teflón ("lectura de pico") y de la concentración que queda una vez que se estabilizan las lecturas ("lectura de régimen"). Estas dos lecturas corresponden, respectivamente, al efecto de liberación instantánea de los vapores al encontrar una "vía de escape" hacia la atmósfera y a la recargada de los vapores por el flujo lateral de los mismos, y de la interpretación de ambas se puede evaluar, en base a la experiencia en casos similares, la migración de los vapores orgánicos en el subsuelo.

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos en cada perforación realizada como parte de esta campaña, distinguiendo entre lecturas de pico y de régimen a cada una de las profundidades en las que se tomaron lecturas (en la Figura 6 se presenta la ubicación de estas perforaciones).

En la tabla 7 se puede apreciar que en ninguna perforación se ha detectado la presencia de vapores orgánicos en el subsuelo, a pesar de que en varias se apreció la presencia de suelo contaminado con hidrocarburos pesados sólidos adherido a las barrenas una vez que éstas eran retiradas. Este hecho parece una contradicción. Sin embargo, en todo momento se ha verificado el correcto funcionamiento del PID por lo que se piensa que los resultados obtenidos se deben al tipo de hidrocarburos presentes en el subsuelo, el PID sólo detecta compuestos volátiles y estos no están presentes en los hidrocarburos pesados, o por el carácter arcilloso del suelo que dificulta la migración de los vapores dentro del suelo, o sencillamente porque el suelo bajo el emplazamiento está relativamente limpio.

Se puede confirmar que existen tres zonas dentro del emplazamiento en el que se ha detectado la presencia de hidrocarburos pesados sólidos en el subsuelo a través de esta información. La Figura 6 muestra estas zonas, que corresponden a la Zona Centro/Norte del Patio de Tanques y los compartimentos que se encuentran en el Area Suroeste del emplazamiento (Tanques 32,34 y 35).

Las Conclusiones que se pueden deducir de esta investigación de vapores orgánicos, indican que no existe una contaminación significativa del suelo por parte de este tipo de vapores. Estos resultados pueden estar relacionados con el tipo de hidrocarburo, que haya podido infiltrarse históricamente bajo el emplazamiento, en caso de haberse producido dicha infiltración, el carácter arcilloso del subsuelo o porque el suelo está relativamente limpio bajo la mayor parte del emplazamiento.

### **II.3 CAMPAÑA DE PERFORACIÓN DE SONDEOS E INSTALACIÓN DE PIEZOMETROS**

En total se perforaron 13 sondeos en el interior de la Planta de Lubricantes Petrolube, en la figura siguiente se muestra la construcción típica de un piezómetro en donde se detalla las partes del piezómetro y los materiales de que fue construido, el piezómetro fue instalado a una profundidad de 2 metros por debajo del nivel freático .

La técnica de perforación, utilizada fue la de rotación con recuperación continua de testigo. Esta técnica permite la obtención del material perforado que puede ser

reconocido en superficie para hacer el correspondiente registro litológico y para tomar, cuando sea menester, muestras de suelo. Además, tomando muestras de este testigo en intervalos de aproximadamente 1,5 metros se han hecho ensayos tipo "head space". Estos ensayos consisten en la introducción de una parte del testigo dentro de bolsas con cierre hermético, luego se agita la muestra liberando de esta forma los posibles vapores orgánicos presentes dentro del suelo. Seguidamente se introduce la sonda del PID y se registra la cantidad de vapores detectados, de esta forma se puede controlar la evolución de estos vapores a lo largo del testigo. Esto ha permitido hacer una primera valoración en campo del grado de contaminación del suelo perforado y elegir las muestras que resultan más convenientes para ser analizadas.

Los sondeos se perforaron hasta una profundidad aproximada de 2 metros por debajo del nivel freático. Durante la perforación de los sondeos se usó la mínima cantidad de agua posible para tomar muestras de suelo sin alteraciones químicas producidas por el lavado del agua. Sin embargo, a partir de una profundidad de aproximadamente 8 metros hubo de usarse agua para poder perforar las gravas que se encuentran a partir de esta profundidad.

Una vez que se llegó a la profundidad media de 10 metros, 2 metros por debajo del nivel freático, en cada sondeo se instaló un piezómetro mediante la colocación de un tubo de PVC en su interior., para ello en la parte inferior de la perforación, unas veces 3.50m.; otras veces 5.00m. se colocó tubería ranurada de fábrica (con un ranurado de 0,3mm) y en la parte por encima del freático se colocó tubería ciega. La tubería ranurada, en la parte inferior, se instaló después de haber colocado a su alrededor una funda lavada del nilón filtrante, y posteriormente se relleno es esta parte del sondeo con grava silícea seleccionada para tener una capa drenante que permitiera el paso del agua y que impidiera, al mismo tiempo, la obturación de las ranuras del tubo de PVC por materiales finos.

Por encima de esta capa de grava se colocó una capa de aproximadamente un metro de bentonita para que sirviera de sello, de manera que se asegure que no hay infiltraciones líquidas provenientes de la superficie que puedan llegar hasta el interior del piezómetro a través de la "vía preferencial" que supone la perforación realizada, asegurándose que el agua subterránea que se puede muestrear en el

interior del piezómetro es representativa de la calidad del acuífero existente en este punto, por encima de la capa de bentonita se llenó con cemento la perforación hasta la superficie, en 4 de los 13 sondeos y se colocó una tapa de acero en superficie.

De esta forma se han instalado 4 piezómetros permanentes, P1 a P4, que servirán como red de control de la calidad de las aguas subterráneas, y 9 piezómetros temporales, S1 a S9, que fueron cerrados posteriormente con cemento una vez recibidos los resultados de los análisis químicos de las muestras enviadas al laboratorio.

La Figura 7 muestra la ubicación final de los 13 sondeos realizados. En el Anexo C se presentan los registros de los sondeos realizados.

Durante la perforación de los sondeos se detectaron, en algunos puntos, ligeros indicios organolépticos de contaminación del subsuelo con hidrocarburos. En el apartado IV.3, referente a los resultados de Laboratorio se presentan los resultados de Laboratorio de las muestras de suelo analizadas. Estos resultados dan una valoración más objetiva de la contaminación presente bajo el subsuelo. Lo mismo se puede decir del agua muestreada, aunque en el caso del piezómetro P1 se ha detectado la presencia de producto libre en flotación.

## **II.4 ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE CO<sub>2</sub> Y O<sub>2</sub> EN LOS SUELOS**

Con el fin de determinar la biodegradabilidad de la posible contaminación existente en el subsuelo, se realizaron análisis in-situ de las concentraciones de los gases O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el subsuelo. Para tal fin, se tomaron 3 muestras del registro de cada sondeo en las que se introdujo una punta de acero provista de unos orificios en un extremo hueco de la misma. A continuación, este extremo fue acoplado a un monitor de gases múltiples (Dräger Multiwarn II). Este aparato determina la concentración de los gases antes especificados en porcentajes. El equipo viene calibrado de fábrica y la proporción que indicaba de los gases O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el ambiente era de 20,9:0.

Respecto a esta calibración y su aplicabilidad, entendemos que el uso de este aparato para este propósito tiene sentido desde un punto de vista cualitativo, no cuantitativo. Es decir, el aparato mostrará un cambio sustancial en las proporciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en condiciones de extrema contaminación por parte de hidrocarburos, por encima de los Valores de Intervención correspondientes y dependiendo de la porosidad y permeabilidad del suelo bajo estudio. Estos dos parámetros determinarán la facilidad para extraer los vapores existentes en el subsuelo. En el caso de analizar un suelo con contaminación del tipo antes mencionado se podrá usar la proporción obtenida para estimar la actividad biológica en el suelo y la biodegradabilidad potencial del mismo.

En todas las muestras de suelo analizadas por su contenido en O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se han obtenido la misma proporción de 20,9:0. Este dato se interpreta como que la contaminación detectada en los suelos no es lo suficientemente elevada como para haber alterado el equilibrio natural de estos vapores. En este sentido cabe mencionar que, si bien se han detectado varios tramos de testigo con evidencias organolépticas de contaminación, en ningún lugar se ha detectado suelo saturado con hidrocarburos, donde si cabría esperar un cambio significativo de la proporción entre O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

## **II.5 MEDICIÓN DE PRODUCTO LIBRE Y NIVELES FREÁTICOS**

En cada uno de los piezómetros instalados en el emplazamiento se hicieron las siguientes mediciones:

En primer lugar se midió la posible presencia de producto líquido libre en flotación sobre el nivel freático. Para ello se utilizó una sonda de interfase. Este aparato funciona con un flotador que está colocado en su parte inferior y que tiene una densidad tal que en contacto con el producto libre asciende, provocando el contacto con una placa situada en su parte superior, lo cual origina un pitido continuo y una señal luminosa permanente en un pequeño piloto de color rojo que está en el cañete de la cinta métrica que queda en superficie. Cuando se profundiza la sonda y se llega al agua bajo el producto libre, se cierra un circuito eléctrico y el pitido pasa a ser discontinuo, así como la señal luminosa, que empieza a parpadear. Restando la profundidad a la que se detecta el agua con la profundidad a la que se detecta la parte superior de la capa de producto en fase

libre, se obtiene una medida que corresponde al espesor aparente de producto en flotación sobre el nivel freático de cada piezómetro.

- En aquellos piezómetros en los que no se detectó producto en fase libre, se midió la profundidad del agua subterránea. Para ello se procedió primeramente a purgar los piezómetros. Esta purga consiste en estimar el volumen de agua contenido en el interior de cada piezómetro y extraer, al menos, 3 veces este volumen. Esta labor se realiza para eliminar los finos que puedan haberse adherido a las ranuras del filtro de los piezómetros durante su instalación y evitar, por tanto, que la permeabilidad descienda como consecuencia de la presencia de estos finos.

Una vez realizada la purga en los piezómetros, y tras esperar un tiempo prudencial para permitir que los niveles se estabilicen en su interior, se midió la profundidad del nivel de agua mediante el uso de un hidronivel, que funciona de manera similar a la sonda de interfase, si bien no incorpora el flotador para la medida de producto libre y solamente incluye el sistema de detección de agua mediante el cierre de un circuito eléctrico.

Todas las medidas de niveles hechas en campo se realizaron tomando como referencia la parte superior de la tubería de PVC en cada piezómetro. Con el fin de determinar las fluctuaciones de nivel freático a corto plazo, se llevaron a cabo varias rondas de control en las que se midió la profundidad del nivel freático en todos los piezómetros instalados, estas mediciones son de especial interés teniendo en cuenta la pequeña distancia que hay entre el emplazamiento, el Océano Pacífico y el Río Rímac (aproximadamente 500 metros en ambos casos).

En aquellos piezómetros en los que existe una capa de producto libre en flotación fue necesario hacer una corrección, de lo contrario, se estaría comparando el nivel freático de aquellos piezómetros en los que no hay producto libre con el nivel de agua subterránea deprimido por el peso del producto en flotación en aquellos donde este está presente. Esta corrección se basa en la teórica sustitución de la masa del producto libre por otra masa equivalente del agua, lo cual, teniendo en cuenta la diferencia de densidades conlleva una corrección de "altura" del líquido. En términos matemáticos, la corrección tiene la siguiente expresión:

$$\Delta h = \frac{\rho_p}{\rho_a} * T$$

Donde:

$\rho_p$  = Densidad del producto

$\rho_a$  = Densidad del agua

**T** = Espesor aparente de producto medido

La profundidad corregida del nivel freático, medida desde la boca de los piezómetros, se obtiene de sumar la expresión anterior a la profundidad del agua subterránea obtenida con la sonda de interfase en aquellos sondeos en los que se detecte un espesor aparente de producto libre, es decir:

$$H_o = H_{nf} + \Delta h$$

Donde:

**H<sub>o</sub>** = Profundidad corregida del nivel freático

**H<sub>nf</sub>** = Profundidad del agua subterránea bajo el producto.

**ΔH** = Incremento de altura calculado anteriormente.

La Tabla 8 presenta los resultados del monitoreo del nivel freático dentro de 6 piezómetros (P1, P2, P3, S4, S5 y S9) en el transcurso de un día (corto plazo). El piezómetro P1 contiene producto libre en flotación y en éste se ha medido tanto la profundidad hasta el contacto Aire - Producto Libre como la de Producto Libre - Agua Subterránea.

En la tabla 8 se muestra la evolución del nivel freático y espesor del producto libre en los mismos piezómetros durante aproximadamente 3 semanas (medio plazo).

Según se muestra en las Tabla 8, la variación máxima medida a corto plazo, 7 horas, ha sido de 0,025 m en el piezómetro P2, mientras que a mediano plazo, 3 semanas, esta máxima variación se ha medido en el piezómetro S4, siendo ésta de 0,12 m.

## II.6 ENSAYO “BAILDOWN”

En el Piezómetro P1 en la que se encontró producto libre, lo que se mide es un “espesor aparente”, que no coincide normalmente con el denominado “espesor real”, es decir, con el espesor de producto libre que hay en el subsuelo en condiciones naturales, debido a la presencia de fuerzas capilares.

Cuando se perfora un sondeo y se instala un piezómetro se destruyen estas fuerzas, lo que elimina los impedimentos que pudiera tener el producto libre para fluir hacia esta zona; el resultado es que se produce una mayor acumulación de producto libre a la que existe en el subsuelo en condiciones de existencia normal de las fuerzas capilares. La diferencia entre el espesor aparente y el espesor real depende de varios factores, como el volumen de producto existente en el subsuelo, la granulometría la diferencia entre espesor aparente y real es mayor cuanto más fino es el grano, por lo que en un suelo compuesto por arcilla la diferencia sera muy significativa, en tanto que en suelo compuesto esencialmente por cantos limpios, los espesores aparente y real tenderán a ser coincidentes, la viscosidad del producto y por tanto, su capacidad para fluir y el gradiente hidráulico.

Existen varios métodos para estimar el valor de los espesores reales de producto en un piezometr. A continuación se detallan algunos de estos métodos.

- Utilización de factores de corrección definidos por estudios estadísticos; por ejemplo, **CONCAWE** (un grupo de estudio creado en común por las principales compañías del Sector Petrolífero) tiene definidos los factores de corrección que se indican en la Tabla 1 y que dependen de la granulometría del suelo:
- Realización de ensayos de vaciado y recuperación del producto libre “in situ” es el denominado “Baildown test”. Estos ensayos consisten en extraer el producto libre hasta dejarlo reducido a una fina película; a continuación, se mide la profundidad del agua subterránea y del producto libre. Las profundidades de ambos líquidos irán disminuyendo a medida que asciendan los niveles previamente purgados, los resultados son graficados y se observa que al cabo de un determinado momento, la curva correspondiente al agua subterránea cambiará su tendencia , pasando entonces a aumentar la profundidad como consecuencia de la

entrada continua de producto libre y la depresión que la masa del producto libre ocasiona sobre el nivel freático. Es en este punto de inflexión, representado en los gráficos del anexo F del piezómetro P-1, cuando se produce el equilibrio entre las presiones hidráulicas del agua y el producto libre, tanto en el interior como en el exterior del piezómetro, y es en este punto, en el que se considera que el espesor de producto libre medido coincide con el espesor real de producto que existe en el subsuelo.

La realización de ensayos tipo "Baildown" se viene imponiendo en la práctica como el método más utilizado para evaluar los "espesores reales" de producto contra los "espesores aparentes", y fue este el método que se ha seguido en este trabajo.

En el Anexo F se presenta el resultado del Ensayo "Baildown" que se ha realizado en el piezómetro P1. El espesor real del producto libre que se ha detectado en este piezómetro asciende a 0.04 m.

## **II.7. REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD**

A efectos de determinar la permeabilidad del subsuelo. Se realizaron 3 ensayos de permeabilidad en los 3 piezómetros permanentes en los que no se había detectado la presencia de producto libre. Estos ensayos consistieron en la introducción de agua en los piezómetros con objeto de llenarlos, cosa que no se consiguió dada la alta permeabilidad de las gravas que componen el acuífero. Sin embargo, después de conseguir un equilibrio entre el volumen de agua que se iba introduciendo y la que se iba infiltrando en el acuífero, se registró el descenso de la columna de agua hasta llegar de nuevo al equilibrio con el nivel freático natural.

En el Anexo G se presentan los resultados de los Ensayos de permeabilidad que se llevaron a cabo en los piezómetros P2, P3 Y P4. se ha obtenido los siguientes valores para la permeabilidad:

- \*  $P2 = 2,27 * 10^{-5}$  Darcy
- \*  $P3 = 2,99 * 10^{-5}$  Darcy
- \*  $P4 = 5,347 * 10^{-5}$  Darcy

## **II.8 TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS Y AGUAS**

El objetivo fue evaluar, a través de análisis químicos, la concentración de distintos contaminantes en las muestras de suelo y agua subterránea que se han tomado a lo largo de los trabajos de campo realizados.

Las muestras de suelo se tomaron del testigo extraído de cada sondeo realizado. La profundidad de las mismas se determinó en función de las evidencias organolépticas de contaminación registradas. En el sondeo P4 no se tomó ninguna muestra al consistir el suelo, desde la superficie hasta el nivel freático, en gravas y cantos.

Por lo que se usó tal cantidad de agua que no se pudo extraer testigo. En los registros de los sondeos se muestra la profundidad a la que se tomaron las muestras de suelo.

Adicionalmente, se tomaron dos muestras de suelo, una al lado del tanque que permanece en el "sótano" que existe entre el piso de la planta y el suelo natural, (muestra denominada SOTANO) y otra en la calle fuera del emplazamiento (muestra denominada CALLE). Ambas muestras se tomaron a una profundidad aproximada de 0.25m. La primera se tomó para investigar la existencia de posibles fugas desde el tanque de premezcla, mientras que la segunda se tomó como muestra de fondo, "blanco" del estado del suelo en una zona cercana a la Planta pero no contaminada por las actividades llevadas a cabo en la misma, además se tomaron dos muestras del suelo extraído por PETROLUBE durante las excavaciones realizadas para la construcción de la nueva Planta de Grasas. Estas muestras tienen los códigos C1 y C2. En la figura 8 se muestra la ubicación de los lugares en los que se han tomado estas muestras.

A las muestras de suelo tomadas en los sondeos se les asignó un nombre consistente con el del sondeo (por ejemplo, P1, S2, etc.) y una letra empezando por la "A" y siguiendo el orden alfabético para distinguir las muestras tomadas a distintas profundidades dentro de un mismo sondeo (por ejemplo, P1A, P1B, S2B, etc.).

Para el caso de las muestras de agua subterránea en los piezómetros simplemente se utilizó el nombre del sondeo (p. ej. S1). De estas muestras se tomaron lecturas de la conductividad y pH para comprobar que estos parámetros fisicoquímicos estaban estabilizados, lo cual permitió asumir que el agua a muestrear era la correspondiente a la que existe en condiciones naturales.

En el caso de presencia de una capa de producto libre en flotación sobre la Napa freática, se tomó una muestra con un muestreador de teflón desechable, disponiendo la misma en una botella de vidrio.

## **II.8.1 Programa Analítico y Resultados**

El programa analítico aplicado a las muestras tomadas en la Planta de Lubricantes se resume en las tablas 2, 3 y 4.

Las tablas 5 y 6 resumen los métodos y las técnicas analíticas empleados, distinguiendo entre análisis de sólidos y de líquidos:

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante los análisis de laboratorio que se han realizado.

### **II.8.1.1 Suelos**

#### **a. pH e Hidrocarburos Totales**

La tabla 13 muestra los resultado de los análisis de pH e Hidrocarburos Totales.

Los resultados que se presentan en la Tabla 13 demuestran que el pH del suelo es relativamente constante, con valores entre 7.4 y 9.1, tendiendo a suelos con un carácter alcalino. En la muestra C2 se ha detectado un valor significativamente inferior, 3.4, pero este valor parece estar relacionado con el carácter orgánico, tipo turba, de esta muestra. No parece que se trate de una contaminación específica en la misma.

En cuanto a los valores de hidrocarburos detectados en las muestras se puede concluir que todas están contaminadas con hidrocarburos pero que en tan sólo 3 se supera el Valor C (5000 mg/Kg). Se trata de las muestras S4-A (5,114 mg/Kg) y las muestras tomadas en el Sótano en el lugar donde se encontraba el antiguo tanque semienterrado.

Las muestras C1 y C2 (3960 y 3900 mg/Kg) tienen concentraciones de hidrocarburos totales relativamente elevadas, más aún teniendo en cuenta que fueron tomadas de suelo excavado hacia ya más de un mes por lo que probablemente los valores iniciales serían aún mayores. Sin embargo hay que recordar que estas muestras consisten en un 83% de materia orgánica (Tabla 9). La cuestión que surge es si estos hidrocarburos están presentes desde la superficie.

Por otra parte no parece necesario determinar esta cuestión teniendo en cuenta que no se sobrepasa el Valor C. Las Figuras 10 y 11 muestran la distribución de la contaminación de hidrocarburos totales en los suelos. En cada una de estas figuras se han plasmado los resultados obtenidos para una de las dos muestras tomadas en cada sondeo, la más somera y la más profunda. En el caso de haberse tomado tan sólo una muestra, ésta se ha incluido en la Figura 10 ("contaminación somera").

Si se analizan las profundidades a las que se ha tomado las distintas muestras (Tabla 2) se puede apreciar que en ambas Figuras se han mezclado datos de diferentes profundidades, existiendo una variación entre sondeo y sondeo de hasta 5 metros. Con el programa SURFER se ha obtenido una variación de la contaminación entre Somera y Profunda. No se pretende dar una imagen exacta de cortes a isoprofundidades, ya que para hacer eso se tendría que haber analizado muchas más muestras por sondeo. Sin embargo, se considera que para efectos ilustrativos las Figuras 10 y 11 son representativas del grado de contaminación por hidrocarburos y las zonas en las que ésta se encuentra.

En la Figura 10 se puede apreciar que existen 2 núcleos en los que se encuentran suelos contaminados con hidrocarburos totales por encima de los 5000 ppm (Valor de Intervención propuesto). El núcleo correspondiente al sondeo S-4 se encuentra a 1.60m. de profundidad. El núcleo correspondiente a la muestra SOTANO indica el suelo contaminado a través de las infiltraciones que se han producido en el antiguo tanque "semienterrado". Estas muestras se tomaron en superficie por la

inaccesibilidad del lugar y no se sabe hasta que profundidad se extiende la contaminación. Es importante indicar que las extensiones de las áreas interpretadas por el programa SURFER no son representativas debido a que estas concentraciones elevadas sólo se han detectado en sondeos aislados, por lo que las interpretaciones de SURFER deben ser valoradas con cautela a la hora de usar los resultados del programa para calcular los volúmenes de suelo contaminado por encima de los Valores de Intervención. En estos casos, los parámetros aplicados para estimar los diferentes volúmenes contaminados se explicarán en la Sección IV.3.3.

En la figura 11 se puede apreciar que no existe ninguna zona contaminada ", con hidrocarburos por encima del Nivel de Intervención (5000 ppm) bajo el emplazamiento contaminada, en el suelo "profundo". Si existieran suelos contaminados por debajo de este nivel no se considera preocupante.

#### **b. Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos**

La Tabla 14 muestra los valores propuestos para los Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPAs) en los suelos.

La Tabla 9 muestra los resultados de laboratorio de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos de los suelos bajo el emplazamiento.

#### **c. Hidrocarburos Aromáticos Volátiles**

La Tabla 9 muestra los resultados de los análisis de los Hidrocarburos Aromáticos Volátiles (HAVs) en suelos, la conclusión del análisis de esta Tabla es que los suelos bajo el emplazamiento no están contaminados con Hidrocarburos Aromáticos Volátiles.

#### **d. Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles**

La Tabla 9 contiene los resultados de los análisis de los Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles (HASVs) en suelos donde se puede apreciar que existe una muestra en

la que se ha detectado un valor superior al Valor C. Se trata del compuesto hexaclorobenceno en la muestra S5-B (14 mg/kg) tomada a 1.90 m. de profundidad.

#### **e. Policlorobifenilos**

La Tabla 9 contiene los resultados de los análisis de Policlorobifenilos (PCBs) en suelos. Esta tabla muestra que existe una ligera contaminación del subsuelo del emplazamiento con PCB, sin embargo, no se llega a sobrepasar el Valor C.

#### **f. Metales**

La Tabla 9 contiene los resultados a los análisis de metales en suelos, los resultados muestran que existe una contaminación por metales pesados en el subsuelo del emplazamiento. En el caso del cobalto (35,506 mg/Kg), níquel (21,158 mg/kg), cobre (4,803 mg/kg) y arsénico (56 mg/kg) se han detectado valores superiores a los Valores C correspondientes. Sin embargo, también se han detectado valores superiores a los Valores C en la muestra CALLE, tomada fuera del emplazamiento como muestra de fondo, lo cual indica que la contaminación de metales detectada está probablemente ocasionada por actividades externas a PETROLUBE.

#### **g. Materia Orgánica y Granulometría**

La Tabla 9 contiene los resultados de los análisis de materia orgánica y granulometría, éstos indican que los suelos bajo el emplazamiento, hasta los 8m. de profundidad, consisten en una mezcla de arenas limosas y arcillosas, limos arcillosos y arcillas limosas con bastante gravilla.

En cuanto a la materia orgánica, llama la atención el valor de la Muestra C1 (830 g/kg). Este valor confirma la observación visual hecha en su momento en la elaboración del C1 de que se trata de una turba.

## **II.8.1.2 Aguas**

### **a. Hidrocarburos Totales, pH y Conductividad**

La Tabla 10 contiene los resultados de los análisis de pH e Hidrocarburos Totales en las aguas subterráneas, en ella se observa que el agua subterránea bajo el emplazamiento está contaminada por encima del Valor de Intervención Holandés para estos compuestos. La Figura 12 presenta la distribución de las concentraciones de hidrocarburos totales en el emplazamiento.

Conviene tener en cuenta que también la muestra tomada del sistema contra incendios (CI) contiene valores de hidrocarburos por encima de los Valores de Intervención.

Teniendo en cuenta la contaminación detectada en la muestra CI, cabe preguntarse sobre la representabilidad de los resultados del resto de las muestras. Por una parte hay que recordar que todos los sondeos fueron purgados antes de la toma de muestras y por otra, hay que tener en cuenta los valores detectados en las muestras P3 (157 mg/L), S2 (60.8 mg/L) y S4 (61.12 mg/L), que superan ampliamente el Valor de Intervención antes mencionado. Esto indica que existe una contaminación del agua subterránea real.

### **b. Hidrocarburos Poli cíclicos Aromáticos**

La Tabla 10 contiene los resultados de los análisis de los Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPAs) en las aguas subterráneas, en ella se puede apreciar que el agua subterránea bajo el emplazamiento no está contaminada con hidrocarburos poli cíclicos aromáticos.

### **c. Hidrocarburos Aromáticos Volátiles**

La tabla 10 contiene los resultados de los análisis de los Hidrocarburos Aromáticos Volátiles (HAVs) en las aguas subterráneas. Así, el agua subterránea en la zona de pozo P3 contiene concentraciones de etilbenceno (0.7 mg/L) y tolueno (1.3 mg/L) por encima de los Valores de Intervención Holandeses. Este

dato coincide con la elevada concentración de hidrocarburos totales detectada en este mismo punto.

#### **d. Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles**

La tabla 10 contiene los resultados de los análisis de los Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles (**HASs**) en las aguas subterráneas, en ella se observa que en la zona del pozo P3 contiene concentraciones de dimetilftalato (0.34 mg/L) y bis(2-etilhexil) ftalato (1.87 mg/L) por encima de los valores de Intervención Holandesa que se dan para la suma de los ftalatos. Este dato coincide con las elevadas concentraciones de hidrocarburos totales, tolueno y etilbenceno detectadas en este mismo punto.

#### **e. Policlorobifenilos**

La Tabla 10 contiene los resultados de los análisis de Policlorobifenilos (**PCBs**) en aguas subterráneas, muestra que el agua subterránea bajo el emplazamiento no está contaminada con policlorobifenilos.

#### **f. Metales**

La Tabla 10 contiene los resultados de los análisis de metales en las aguas subterráneas, en ella se puede apreciar que en dos de las cuatro muestras realizadas se supera el Valor de Intervención Holandés para alguno de los metales analizados. Se trata en concreto de las muestras P2 con 67  $\mu\text{g/L}$  de arsénico y S7 con 0.666  $\mu\text{g/L}$  de bario.

#### **g. Ensayos sobre el Producto Libre**

La Tabla 11 contiene los resultados de los ensayos realizados sobre la muestra de producto libre tomada en el piezómetro P1. Estos ensayos han consistido en la determinación de la Densidad, la Viscosidad y la Curva de destilación. En ella se puede apreciar que el producto libre detectado corresponde a un destilado medio que podría consistir en una mezcla de gasolina, kerosene y gasóleo. Teniendo en cuenta que en la Planta de PETROLUBE no se maneja este tipo de combustible y

considerando la ubicación del penacho, que se presenta en la Figura 9, es probable que el lugar de infiltración este ubicado fuera de la planta.

## **II.9 VOLÚMENES DE MEDIOS CONTAMINADOS**

A continuación se presentan los volúmenes aproximados de los medios, suelo y agua que se estima están contaminados por encima de los Niveles de Intervención y los cálculos en los que se basan estas estimaciones.

### **Suelos**

Respecto a este parámetro, hay que indicar que sólo se ha considerado realizar estimaciones para la contaminación de los hidrocarburos totales, ya que de este parámetro se han analizado hasta 28 muestras, cantidad que se considera suficiente para elaborar las Figuras 10 y 11, así como para realizar los correspondientes cálculos de volúmenes. De los otros parámetros no se han analizado más de 4 ó 5 muestras y además sólo se han detectado valores superiores a los valores de intervención en 2 casos, el hexaclorobenceno y los metales en las muestras S5-B y P2-B. Basados en tan sólo un punto superior a los Valores de Intervención correspondientes, se considera poco fiable cualquier cálculo de volumen contaminado.

En el caso de los hidrocarburos totales se han detectado, valores superiores al Valor de Intervención (5,000 ppm) en tan sólo dos muestras que representan dos núcleos (Figura 10) que están aislados entre sí y rodeados por valores inferiores a dicho Valor de Intervención. La estimación que se hace por tanto, tiene que estar basada en los criterios de evaluación que se crean relevantes.

En el caso del núcleo entorno al sondeo S-4, hay que tener en cuenta que durante la perforación del sondeo, no se apreciaron indicios organolépticos claros de contaminación. Se cree que asignando al tramo contaminado por encima de los 5,000 ppm un espesor máximo de 1 metro, teniendo en cuenta que la muestra S4-A se tomó a 1,60 m y la muestra S4-B (1,942 ppm) a 3,40 m, se estaría cerca del tramo de sondeo contaminado. En cuanto al área que representa la muestra S4-A cabe todo tipo de interpretaciones. En este sentido sería importante conocer la

causa de esta contaminación. El sondeo S4 se encuentra cercano a los tanques de almacenamiento N°1, 3 y 5 por lo que una antigua fuga desde estos tanques podría ser el origen. También se podría pensar en una fuga en alguna tubería de drenaje de aguas residuales que pese por esta zona. Teniendo en cuenta que la zona indicada en la Figura 10, en torno al sondeo S4, como contaminada por encima de los 5000 ppm representa un área de unos 450 m<sup>2</sup> y que el tramo máximo contaminado podría ser de 1m, se puede establecer el volumen total contaminado por encima de los 5,000 ppm en 450 m<sup>3</sup>. Si bien, se recomienda tomar este valor con las reservas propias que se deducen de los aspectos considerados anteriormente.

Respecto al núcleo representado en torno a la muestra SOTANO (31,600 y 12,200 ppm), la extensión del núcleo presentado en la Figura 10 no se puede considerar como realista ya que este nivel de contaminación sólo se ha detectado en un lugar, lo cual dificulta la extrapolación de este dato. Teniendo en cuenta que esta contaminación se ha producido en un punto concreto y el carácter arcilloso del suelo, se cree que la extensión de esta contaminación puede haber alcanzado aproximadamente unos 100 m<sup>2</sup> (10x10 m) y si se estima que puede haber llegado a penetrar hasta los 2.00 m bajo superficie se trataría de 200 m<sup>3</sup> de suelo contaminado por encima del Valor de Intervención en este lugar.

La suma de ambas estimaciones daría un volumen de suelo contaminado por encima del Valor de Intervención de aproximadamente 650 m<sup>3</sup>.

Conviene volver a recalcar que estas estimaciones basadas en tan sólo un dato, en ambos casos, son meramente aproximativas. El volumen de suelo realmente contaminado con las concentraciones indicadas podría ser bastante inferior a los cálculos realizados. Por esta razón estas condiciones deben ser tomadas con cierta cautela.

### **Aguas Subterráneas**

La Figura 9 muestra la distribución de las concentraciones de hidrocarburos totales detectadas en el agua subterránea. En esta figura se puede apreciar que prácticamente todo el área cubierta por el emplazamiento contiene agua

subterránea contaminada por encima del Valor de Intervención (0.6 mg/L). Teniendo en cuenta que el área total del emplazamiento asciende a 38,440 m<sup>2</sup> y estimando que la contaminación se haya infiltrado hasta una profundidad de 5 metros por debajo del nivel freático se puede calcular que el volumen de suelo saturado con agua contaminada es de unos 192,200 m<sup>3</sup>. Si tenemos en cuenta que la porosidad total en un suelo consistente en gravas con matriz limoso/arenosa puede equivaler a un 30% se puede calcular el volumen total de agua contaminada por encima del Valor de Intervención en unos 58,000 m<sup>3</sup>.

## **II.10 Volumen de Producto Libre**

A la hora de evaluar el volumen de producto libre existente bajo el emplazamiento se plantea la misma duda descrita para los suelos, tan sólo se ha detectado en un piezómetro por lo que resulta difícil extrapolar los datos. En la Figura 12 se aprecia el área que se ha interpretado podría estar cubierta por producto libre. Esta área es de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>. Teniendo en cuenta el espesor del nivel de producto libre (0.04 m) y porosidad total estimada del 30% se puede calcular que el volumen total de producto libre bajo el emplazamiento sería de aproximadamente 4 m<sup>3</sup>.

## **II.11. Nivelación Topográfica**

Con el objetivo de determinar la dirección de flujo del nivel freático se realizó una nivelación topográfica de los 13 piezómetros instalados. Esta nivelación consistió en la toma de medidas relativas referidas a la superficie del emplazamiento y asignándole al piezómetro S-1 un valor de 100,00 m. El resto de las medidas se tomaron, igualmente, a nivel de superficie. Mediante la toma de cotas relativas se obtiene suficiente información para la determinación de la dirección del flujo subterráneo, por lo que se considera innecesaria la toma de cotas referidas al sistema topográfico oficial del Perú.

En la tabla 15 se presentan las cotas relativas, medidas en superficie al lado de los piezómetros P1 a P4 y S1 a S9. Además se incluyen los niveles freáticos medidos en estos piezómetros y la cota relativa del nivel freático calculada en cada uno de ellos.

Estos datos se han usado para preparar el mapa de isopiezas que se presenta en la Figura 10. Este mapa se ha preparado con la ayuda del programa informático SURFER que calcula, mediante regresión matemática, las isopiezas relativas correspondientes a los datos de los que se dispone. Tal como se puede apreciar en el plano, la dirección local del agua subterránea aparenta tener un componente Este. Se cree que esta dirección puede estar inducida por el bombeo que se hace en la planta vecina. El pozo de bombeo se encuentra aproximadamente en la dirección indicada.

Además, con la ayuda del Plano de diferencias de cotas se ha calculado el gradiente hidráulico local, el cual es de aproximadamente 0,75%.

### III. ESTUDIOS DE GABINETE

#### III.1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA REFERENTE A LA PLANTA

La Figura 1 presenta la ubicación de la Planta y las instalaciones colindantes. La Figura 2 muestra las distintas unidades de producción y zonas de almacenamiento de la Planta.

Esta planta elabora, entre otros, los aceites lubricantes **Petrolube**, con una producción del orden de 8 MM galones al año en 150 diferentes productos.

##### III.1.1. Descripción de la Planta

La Planta de Petrolube - Callao tiene las siguientes dimensiones:

*	Area construida	10,699.74 m <sup>2</sup>
*	Area del Patio de Maniobras	27,740.45 m <sup>2</sup>
*	Area Total del Terreno	38,440.19 m <sup>2</sup>

Esta planta se encuentra rodeada básicamente por instalaciones pertenecientes a PETROPERU. Tal como se ha dicho, el emplazamiento formó parte de dichas instalaciones hasta el 30 de septiembre de 1996.

La figura 2 muestra un plano de la Planta. Desde un punto de vista medioambiental, se puede dividir el emplazamiento en 5 unidades:

- \* La nave central, en la que se lleva a cabo el proceso de mezcla y envasado de lubricantes.
- \* El Patio de Tanques ubicado en la zona Oeste de la nave;
- \* Los cuatro cubetos que se encuentran separados de las primeras dos zonas en las que se encuentran los Tanques N° 7,14,32,34 y 35.

- \* Las zonas de almacenamiento temporal de barriles y contenedores plásticos con lubricantes.
- \* 2 tuberías de 6" de diámetro y 1 de 12" de diámetro con una longitud de 1.500 m a través de las que se reciben los aceites básicos y parte de los aditivos desde el Muelle 4 del Puerto del Callao.

La nave central incluye las siguientes instalaciones:

- \* Una Zona de Mezclados, donde se mezclan los aceites básicos y los aditivos para generar los lubricantes;
- \* Una Zona de Envasados, donde se llenan recipientes metálicos desde varias líneas de envasado.
- \* Una Zona de Almacenaje y Despacho de Producto Envasado;
- \* El Laboratorio en el que se realizan los controles de calidad;
- \* Y una Zona de Oficinas.

Entre las Zonas de Mezclados y Envasados se encuentra un tanque de premezcla colocado entre el suelo natural y la losa de concreto que forma el suelo de la nave. Entre estas dos superficies existe un espacio vacío que forma un tipo de sótano de la nave. El tanque está compuesto de cuatro compartimientos; el suelo sobre el que se apoya la base de este tanque no está impermeabilizado. Recientemente se ha retirado un antiguo tanque semienterrado ubicado en la Zona de Mezclados. El resto de tanques, tuberías y conductos de producto son aéreos, por lo que en caso de fuga, ésta se derrama sobre el suelo de concreto y se puede recoger posteriormente con facilidad.

En el Patio de Tanques se encuentran 33 tanques que contienen aceites básicos, aditivos y producto final. Además, los tanques 122 y 123 contienen, respectivamente, combustible (Petróleo 5) usado en la caldera para la generación de vapor, y agua, para la misma caldera. Todos los tanques están provistos de una

losa de concreto en la base. El Patio está provisto de un muro de contención, y una solera de concreto sobre la superficie que se colocaron en julio de 19994. En el Anexo B se presenta una relación del contenido y volumen de cada tanque.

Dentro del Patio, en la zona adyacente al Laboratorio existe un pozo séptico para la recogida de las aguas sanitarias y un depósito aéreo al que se conducen los aceites y disolventes residuales generados en el Laboratorio.

Los compartimentos en los que se encuentran los Tanques 7,14,32,34 y 36 están provistos de muros de contención de concreto, los suelos no tienen ningún tipo de impermeabilización y la base de los tanques no está provista de una losa de concreto. Antiguamente estos tanques almacenaban gasolina.

Las áreas sobre las que se almacenan barriles y contenedores con lubricantes están cubiertas con asfalto, sin embargo no disponen de un sistema de contención para el control de posibles derrames de producto.

El resto de la superficie está ocupada por dos edificios de oficinas, el comedor y un área de estacionamiento de vehículos. El único factor de riesgo ambiental aquí son las tuberías de aguas sanitarias.

Los aceites básicos y parte de los aditivos se reciben a granel desde unas instalaciones existentes en el Muelle 4 del Puerto del Callao, a través de 2 tuberías de 6" de diámetro con una longitud de 1.500 m.

Estas tuberías forman parte del rack de tuberías que tiene instaladas PETROPERU para suministro de producto desde el Muelle. Todas estas tuberías son aéreas, excepto en una pequeña zona ubicada bajo el Terminal Marino (65m).

La capacidad de almacenamiento entre aceites básicos, aditivos y productos finales es de 125MB en 36 tanques de diferentes capacidades.

El mezclado de los aceites base y los aditivos se realiza en 14 mezcladores. Para el envasado de productos se dispone de 4 balanzas semiautomáticas para cilindros y

baldes, con máquinas dosificadoras para envases menores. Así mismo, se cuenta con instalaciones para despacho a granel (Puentes 2 a 4 en la figura 2).

### **III.1.2. Proceso de Producción**

La Figura 3 muestra un esquema de flujo seguido en la planta durante la producción. El proceso de producción comienza con el suministro de aceites básicos, desde barcos a través de una tubería de 1.500 m. que conecta el Puerto del Callao con la Planta, aditivos, mayoritariamente en camiones cisterna y cilindros

Los aceites básicos y los aditivos se almacenan en los diferentes tanques existentes en la Planta. Desde estos tanques de mezcla. Una vez elaborados, se envasa parte del producto final en la zona de envasados y el resto se envía a tanques de almacenamiento para ser servicio a granel en camiones cisterna. Los lubricantes se retiran del emplazamiento en contenedores metálicos, desde la Zona de Despacho de Combustible, o a granel, desde los Puentes de Carga N° 2,3 y 4.

Entre los diferentes pasos del proceso de producción se realizan controles de calidad dentro del laboratorio de la Planta, que se encuentra dentro de la nave de producción.

### **III.1.3. Tratamiento de Líquidos Residuales**

En el proceso de producción no se generan flujos de líquidos residuales con carácter tóxico, por lo que no existe ningún sistema de recojo de efluentes contaminados.

La planta dispone de una red colectora de aguas sanitarias y aguas procedentes de la purga del sistema de vapor (condensado), éstas se conducen a un pozo séptico, ubicado al lado del laboratorio (Figura 2), los sólidos se depositan dentro del pozo séptico y los líquidos se drenan hacia el colector municipal.

Dentro del laboratorio se encuentra un lavadero de equipos contaminados con aceites mediante disolventes. Esta actividad genera pequeñas cantidades de disolvente usado y aceite residual, que son conducidos hacia un depósito aéreo existente dentro del Patio de Tanques. Periódicamente se trasvasa estos residuos a

cilindros que son etiquetados como residuos tóxicos y peligrosos para ser transferidos a la empresa ESLIMP CALLAO, que los entierra en su botadero municipal, ubicado en Ventanilla. El volumen de líquido residual generado de esta forma es de aproximadamente 110 litros/mes.

#### **III.1.4 Tratamiento de Sólidos Residuales**

En la planta se generan una serie de residuos sólidos y fangosos que son los siguientes:

- \* Borra. Es el producto de limpieza de los fondos de los tanques de almacenamiento. Estos residuos son retirados por **ESLIMP CALLAO**.
- \* Pequeños derrames de lubricantes y aceites que se producen en las Zonas de Mezclados y Envasados; estos derrames se recogen con serrín dentro de contenedores, que son retirados por **ESLIMP CALLAO**.
- \* Chatarra. En la Planta se genera cierta cantidad de chatarra de hierro. Está prevista la próxima retirada de la chatarra acumulada en la zona Suroeste junto a los escombros presentes.
- \* Otros residuos inertes. Se incluyen en este rubro residuos asimilable a urbanos (mangueras, plásticos, metales, madera, etc).

#### **II.1.5. Posibles Fuentes de Contaminación Existentes en el Pasado**

No se tiene constancia de que en el pasado hayan existido fuentes de contaminación en la Planta. Sin embargo, durante la inspección visual de la planta, la realización de la investigación de vapores orgánicos, y la toma de muestras de suelo se ha detectado la presencia de suelo contaminado con hidrocarburos en 4 zonas de la planta. Estas zonas son:

- \* Dos zonas dentro del Patio de Tanques. Estas zonas se corresponden con la zona Centro/Norte de éste.

- \* Los cubetos que se encuentran en el área Suroeste del emplazamiento (Tanques 32,34 y 35).
- \* El suelo bajo el antiguo tanque “semienterrado” en la Zona de Mezclados.

Además se indicó que en la zona en la que recientemente se ha instalado la Planta de Grasas (zona al norte de la nave central) se había detectado suelo con olor a hidrocarburos durante la excavación de varias calicatas. Con el objetivo de estudiar esta cuestión se tomaron dos muestras del suelo extraído. Las conclusiones de los análisis realizados se comentarán más adelante.

La Figura 6 muestra la ubicación de las zonas indicadas.

### **III.1.6. Fuentes de contaminación activa con posterioridad al 30 de septiembre de 1996.**

No se tiene constancia de que existan fuentes de contaminación activa dentro de la Planta con posterioridad al 30 de agosto de 1996. Los Informes de Fiscalización del año 1996 y 1997 no indican que haya constancia de la existencia de fugas en los tanques presentes en la planta.

Además, según el Informe de 1996, el 23 de Noviembre de ese año se produjo un derrame de aceite básico lubricante ABN-1200 en el muelle 4. El informe correspondiente fue presentado a la Dirección General de Hidrocarburos (DGH). Sin embargo, en el Informe de Fiscalización de ese año se indica el lugar exacto de la fuga ni el impacto medioambiental de la misma. Por otro lado, teniendo en cuenta que este hecho ocurrió cuando la Planta ya era propiedad de MOBIL OIL, se considera suficiente incluir este dato en este informe como información de fondo.

## **III.2. Entorno Industrial y Social**

La Figura N° 1 muestra las industrias y Asentamientos Humanos adyacentes a la Planta bajo estudio.

### **III.2.1 Entorno Industrial**

El emplazamiento bajo estudio se encuentra rodeado de industrias potencialmente contaminantes. Esto significa que parte de la contaminación que se pueda encontrar en el suelo y agua subterránea bajo la Planta puede tener origen en alguna de las instalaciones adyacentes.

### **III.2.2. Entorno Social**

La Planta de **PETROLUBE** se encuentra dentro del distrito del Callao que pertenece a la provincia Constitucional del mismo nombre. La población de este Distrito es de 376,165 personas, según el censo de 1993. Tal como se puede ver. La Planta se encuentra al Norte de las zonas habitadas del Callao. Este Plano presenta la ubicación de los asentamientos humanos, urbanizaciones, asociaciones de vivienda y cooperativas en los alrededores de la Planta.

La Tabla 6 resume los datos de población de las urbanizaciones o asentamientos humanos que se encuentran a menos de 1km. de distancia, en base a los datos de la Municipalidad del Callao en octubre de 1997.

Respecto al posible impacto medioambiental derivado de las actividades de la Planta sobre estos Pueblos Jovenes, se pueden destacar los Pueblos Jovenes de Puerto Nuevo y Barrio Frigorífico, que están ubicados aguas abajo del emplazamiento. Estos barrios podrían verse potencialmente afectados en el caso de existir pozos ilegales utilizados para el suministro de agua para uso humano en los mismos, posibilidad que según un experto de **SEDAPAL**, la empresa responsable del suministro de agua potable en Lima y El Callao, no puede excluirse, aunque dada la solidaridad del agua subterránea en esta zona parece poco probable que el agua subterránea se use como tal. Además, el impacto ambiental de la Planta formará parte del impacto causado por la totalidad de las empresas instaladas en la zona.

En este punto conviene referirnos a la sección IV.4 en la que se presentan los resultados del estudio topográfico y la dirección de flujo del agua subterránea obtenida. La interpretación del resultado indica que dicha dirección está inducida por la extracción de agua subterránea en uno de los pozos existentes dentro de la Planta de PETROPERU. Así mismo, parece indicar que no existiría la posibilidad de afectación de los barrios Puerto Nuevo y Frigorífico, ubicados al oeste de la Planta PETROLUBE. Sin embargo, si esta dirección de flujo realmente está inducida por el bombeo dentro del pozo de PETROPERU, tal como se ha interpretado a falta de más datos, habría que entenderlo como un flujo "artificial". Por tanto, no se podría excluir la inversión de dirección de flujo actual a la dirección natural en épocas de parada de dicha extracción de agua o en épocas de mayor infiltración desde el río Rimac, por lo que no se puede garantizar dicha inexistencia de riesgos para esta zona poblada.

Con el fin de evaluar el posible impacto de estas actividades en los terrenos de la Planta y, viceversa, el posible impacto de las actividades de la Planta sobre el entorno, durante los trabajos de campo se tomó muestras de suelo y agua subterránea en zonas situadas fuera de la propia Planta, pero dentro de la zona industrial. De esta forma se pudo evaluar el impacto real de las actividades llevadas a cabo en la Planta teniendo en cuenta el valor de fondo de la contaminación generada en el entorno. Posteriormente, se han tomado las concentraciones de "fondo" obtenidas como base a la hora de analizar los resultados obtenidos de las muestras tomadas en los terrenos de la Planta.

### **III.3. Entorno Físico**

La Planta Petrolube - Callao está situada junto a la línea de costa, a unos 700 m del Océano Pacífico. Además se encuentra a unos 700m. del margen izquierda del Río Rimac. Topográficamente se sitúa en una zona con una ligerísima pendiente prácticamente llana, en sentido Este-Oeste, hacia el mar.

#### **III.3.1 Geología**

Atendiendo a la información incluida en el Boletín N° 43 del instituto Geológico, Minero y Metalúrgico de Perú, titulado "Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica", la estratigrafía en el emplazamiento incluye los siguientes materiales, desde superficie hacia niveles más profundos:

Depósitos aluviales Pleistocénicos, que en este caso forman el cono deyectivo del río Rimac. Este cono deyectivo, sobre el que se ha construido la ciudad de Lima, es considerado como el más importante de la zona.

La litología de estos depósitos aluviales Pleistocénicos, que afloran en terrazas, cortes (por ejemplo en los acantilados de la costa. Los niveles de arena, limo y arcilla se pierden lenticularmente y, a veces, se interdigitan entre ellos o entre los conglomerados.

El grosor de estos depósitos aluviales es desconocido. A través de las perforaciones realizadas para la captación de agua subterránea para Lima, se conoce que es considerable, pero en ninguna de ellas se ha llegado a la base; el pozo más profundo alcanza los 210 m. y no llega al nivel inferior de esta formación. Según estudios geofísicos, estos depósitos sobrepasan los 400m. de espesor y podrían llegar en la zona del Callao hasta los 600m. de espesor.

El Anexo C muestra un corte geológico preparado a través de la extrapolación de los registros geológicos de 3 pozos perforados por SEDAPAL en la zona de La Punta en El Callao, a aproximadamente 4.5Km. de la Planta de PETROLUBE. En este diagrama se puede apreciar que en esa zona existen 3 niveles de arcillas considerables, con espesores de hasta 30 metros. Parece probable que esta

situación pueda extrapolada al área de la Planta. Sin embargo, muestra que dentro del área de Lima - Callao estos niveles arcillosos, si bien ampliamente presentes, no se pueden extrapolar directamente a través de toda la zona. Por tanto, se puede concluir que parece probable que el sueldo bajo el emplazamiento contenga uno o más niveles importantes de arcillas.

Aunque no existen datos sobre los estratos que subyacen bajo los materiales antes descritos, según el Mapa Geológico de Lima, se trata de una serie volcánico - sedimentaria Cretácica correspondiente a la llamada Formación Ventanilla. El miembro superior de esta formación consiste en una secuencia mayormente sedimentaria, consistente en areniscas, limolitas, arcillas y calizas, con algunas intercalaciones volcánicas. Su grosor es del orden de 150m. Esta formación constituye aquí el basamento, teóricamente impermeable.

El subsuelo bajo el emplazamiento consiste en una serie de arcillas y limos arenosas marrones, relativamente compactos y con algún lentejón orgánico tipo turba. La potencia de este nivel es de aproximadamente 8 metros. Por debajo de estos materiales se encuentra la serie de gravas y bolos presentes en toda la cuenca del Río Rímac y que han sido descritos en la descripción general de la geología regional. La potencia de estos sedimentos puede sobrepasar los 100m.

### **III.3.2. Hidrogeología**

Los datos que se presentan a continuación, referentes a la hidrogeología de la zona del Callao, han sido publicados en el informe "Importancia de las aguas subterráneas para el abastecimiento a la ciudad de Lima" presentado en el Simposio de Hidrogeología organizado en 1987 por la Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Según esta publicación, en la zona en estudio existen diversos acuíferos libres de tipo aluvial, que se interconectan en sus partes más bajas y cuya geometría está condicionada por la morfología del techo del substrato impermeable constituido por rocas intrusivas, volcánicas, sedimentarias y metamórficas del Mesozoico al Terciario, y también por arcillas de Edad posterior. Aunque en algunos lugares parece tratarse de acuíferos diferenciados, en realidad se trata de uno sólo, aunque con

variaciones verticales y laterales de permeabilidad. En el curso de una perforación de un pozo suelen ser descritos numerosos "estratos" que aparentan constituir acuíferos diferentes, a veces incluso bajo presión confinante. Se trata, sin embargo, de situaciones locales que no se pueden extrapolar a grandes distancias. El ambiente de sedimentación que ha existido a lo largo de la costa Peruana ha sido rápido, caótico e incluso a veces catastrófico. En este tipo de ambiente no se pueden generar capas sedimentarias impermeables de gran extensión. Tampoco existen arcillas de importancia, ya que estas son típicas de ambientes de sedimentación tranquilos.

El espesor del acuífero puede llegar a varios centenares de metros. Este acuífero presenta una sección inferior de material predominantemente fino. La recarga se debe esencialmente a una subcorriente que viene de aguas arriba, de la sierra, a las filtraciones de los ríos, en este caso el Rímac, y a la actividad agrícola. El destino final del agua subterránea lo constituye el Océano Pacífico, dentro del cual se extienden mar adentro los depósitos detríticos que forman el acuífero.

Las fluctuaciones piezométricas estacionales son de 1 a 5m, según la zona. El nivel máximo se produce entre Junio y Agosto mientras que entre Noviembre y Enero se registran los niveles mínimos.

El lento pero progresivo avance de la interfase marina, especialmente en la zona del Callao, es un hecho debido a la sobre explotación del acuífero.

En la zona de Lima se han realizado varios ensayos de bombeo de los que se han calculado diferentes parámetros hidrogeológicos. El ensayo más cercano a la Planta de PETROLUBE se ha realizado en el Distrito de Carmen de la Legua. Los parámetros calculados son la Transmisividad (T), la Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K), el Coeficiente de Almacenamiento (S) y el Radio de Influencia.

La extrapolación de estos datos a la situación presente en el acuífero bajo el emplazamiento no se puede hacer directamente. Sin embargo, sí pueden valer como datos de referencia para a planificar un ensayo de bombeo en el emplazamiento en caso de que éste sea recomendable.

Respecto a la composición química del agua potable bajo la Planta, los datos publicados reflejan que ésta es de tipo bicarbonatada cálcica. Además, en los últimos años se ha acentuado la evolución de la salinidad en la zona del Callao, tal como ya se ha dicho anteriormente, a causa de la sobreexplotación del acuífero.

Como consecuencia de esta fuerte explotación y a pesar de la presencia cercana del río Rimac, que recarga el acuífero especialmente en la temporada de lluvias, se han observado descensos de hasta más de 20 m, en los últimos 11 años. La curva del nivel o de la napa se encuentra a 2km. de la costa y existen ya algunos pozos abandonados por salinidad, pero salvo estos pozos, la concentración de cloruros no sobrepasa los 50 mg/L, observándose esto en los pozos ubicados a menos de 1Km del mar y con una piezometría de menos de 5m.

En lo que se refiere a la Hidrogeología de la planta se concluye que bajo el emplazamiento se encuentra un acuífero a una profundidad que varía aproximadamente entre los 5 y los 8 metros el cual tiene características de acuífero abierto y se considera que se trata del mismo que se ha descrito para el resto de la zona. Según las descripciones regionales, este acuífero podría tener una potencia que sobrepasa los 300m. dada la cercanía del Río Rimac, que se encuentra a unos 500 metros de distancia y que crece considerablemente durante la época de lluvias.

### **III.3.3. Clima**

La caracterización de los principales parámetros climáticos es importante para el planteamiento futuro de acciones de saneamiento de la posible contaminación existente en el emplazamiento, ya que para dicho planteamiento hay que analizar cuestiones tales como la posibilidad de generación de lixiviados, las temperaturas medias y extremas, etc.

La precipitación media anual en la zona es de tan sólo 10mm. Entre los años 1985 y 1994 la precipitación máxima registrada en la estación climática del aeropuerto internacional Jorge Chávez, situada a unos 3 kilómetros al Nordeste del emplazamiento, en un período de 24 horas fue de 2mm (en mayo de 1991).

La temperatura corresponde a un clima semi-cálido, con máximas en los meses de Enero a Marzo (entre 22,45 y 23,21°C de media mensual entre 1985 y 1994 en la estación climática del aeropuerto internacional Jorge Chávez) y mínimas en los meses de julio a septiembre (entre 16,82 y 16,45°C). Las temperaturas diarias extremas para estos años alcanzaron los 12 y los 32°C.

La humedad relativa tiene un promedio del 83%. El promedio mensual máximo es del 94% y el mínimo es del 67%.

En cuanto a los vientos, predominan los procedentes del Sur, que tienen una velocidad media de 13,6 Km/h.

#### **III.4. ENTORNO BIOLÓGICO**

En la vegetación se indica que sólo se observan pequeños arbusto que florecen a las riberas del río Rímac. No se encuentra vegetación significativa alrededor de la Planta ni en el interior.

Al mismo tiempo se menciona que no se ha observado fauna por la actividad propia de la Planta. A esta observación cabría añadir que la Planta se encuentra dentro de un entorno urbano e industrial por lo que es lógico que no exista fauna significativa en el entorno excepto las aves marinas y los animales domésticos que puedan tener los habitantes de los barrios vecinos.

#### **III.5. MARCO LEGAL PERUANO EN MATERIA AMBIENTAL**

En el Anexo D se presenta un resumen de las distintas regulaciones ambientales existentes en Perú que son de aplicación al emplazamiento.

En la legislación medioambiental Peruana no existen valores numéricos para definir cuando un suelo debe ser considerado o no como "contaminado", es decir, no existen "Niveles de Intervención" (entendidos éstos como aquellas concentraciones, en el suelo o agua subterránea, de determinados compuestos químicos, a partir de las cuales existe la obligación legal, sin que haya un requerimiento explícito por parte de las Autoridades Ambientales pertinentes, de emprender medidas de reducción de

dichas concentraciones hasta otros niveles, denominados como "Niveles de Saneamiento", por parte del causante de la contaminación en el suelo, ni "Niveles de Saneamiento" entendidos éstos como aquellas concentraciones, en el suelo o agua subterránea, de determinados compuestos químicos, que se consideran como objetivo a alcanzar una vez que se han emprendido labores de descontaminación en un emplazamiento).

A falta de estos valores numéricos específicos, el Gobierno Peruano, a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas, ha publicado varias Guías sobre el tema, en las que se incluyen una serie de valores numéricos que, como se menciona en las propias Guías, tienen la "finalidad de ayudar a personas de la industria y del gobierno, así como al público en general, a desarrollar planes ambientales, "pero que, no son leyes o reglamentos".

#### IV. ANALISIS DE RIESGOS

El objetivo de este Capítulo es evaluar cuales son los riesgos para la salud humana y para los ecosistemas de la zona, asociados a la existencia en el emplazamiento de contaminación, y proponer los Valores de Intervención, de Saneamiento y los Valores-Objetivo a considerar a fin de evaluar la necesidad de acometer trabajos de remediación del subsuelo y el alcance de los mismos.

Actualmente en el Mundo existen dos tendencias a la hora de definir cuando un determinado emplazamiento debe ser saneado y hasta qué punto debe ser saneado. Estas dos tendencias, y los países que siguen cada una de ellas, son las siguientes:

1. Definición de unos Valores-Objetivo, unos Valores de Intervención y unos Valores de Saneamiento, establecidos en función de análisis toxicológicos y no toxicológicos globales. Con los Valores de Intervención y de Saneamiento, se definen habitualmente unos Valores-Objetivo para cada compuesto (o grupo de compuestos), que son los que idealmente deberían ser alcanzados y bajo los cuales se puede asegurar que cualquier tipo de uso de los suelos o de las aguas subterráneas es viable, aunque esto no implique que exista una obligatoriedad legal de llegar hasta estas concentraciones, sino que solamente se indican a modo de objetivo óptimo.

Este esquema de actuación ha sido adoptado por países como Canadá, Holanda, Francia y Finlandia, por regiones tales como Valonia (Bélgica), País de Gales (Gran Bretaña) y País Vasco (España), y por diversos Estados y Ciudades Alemanas (Bade-Wüttemberg, Eikmann, Baja Sajonia, Renania Septentrional, Westfalia, Hamburgo); en corto plazo, además, será aplicado a nivel nacional por Alemania y Japón.

2. Definición de los Valores de Intervención y de Saneamiento caso por caso, es decir, realizando un análisis de riesgos para cada emplazamiento estudiado y fijando las concentraciones máximas permitidas a partir del análisis de la situación, las vías de exposición, la posibilidad de migración de los contaminantes, los posibles receptores, etc.

Esta vía ha sido seguida por dos países: Estados Unidos y Dinamarca.

Sobre la base de partida de estos esquemas iniciales se está produciendo en la actualidad la confluencia hacia un término medio, de manera que en el caso de aquellos países que tienen definidos unos valores numéricos determinados, para aquellas concentraciones de cada compuesto que caen en medio de los Valores-Objetivo y los Valores de Intervención, se realiza un análisis de riesgos (casos de Canadá y Holanda) para evaluar si la concentración detectada supone un riesgo para las personas o para el medio y, por lo tanto, si se requiere emprender acciones de saneamiento. En el caso de los Estados Unidos, las autoridades medioambientales han iniciado unas rondas de conversaciones con los agentes implicados con el ánimo de llegar a un acuerdo para introducir unos objetivos nacionales para la protección de la salud humana y continuar con el establecimiento de unos niveles de contaminación permisibles para los distintos compuestos químicos.

Solamente Dinamarca se mantiene firme en el requerimiento de que cada caso sea analizado individualmente y sin que existan unos valores de referencia pre-establecidos.

Es necesario indicar que el esquema Danés requiere que haya unas pautas de base establecidas para la realización de los análisis de riesgos, con el fin de evitar diferencias de criterio a la hora de fijar los Valores de Intervención y Saneamiento para cada emplazamiento que podrían dar lugar a "agravios comparativos" entre los sujetos a los que se puede obligar a costear las medidas de saneamiento a utilizar, y que exista una cantidad tal de técnicos especializados en la materia que se puedan cubrir las necesidades de estudio existentes en cada momento. Lógicamente, esto implica una experiencia en la aplicación de este método que, hay que reconocer, no se da en los momentos actuales en Perú.

Por otra parte, los programas de evaluación de análisis de riesgos conllevan una serie de incertidumbres, relacionadas con los siguientes aspectos:

1. La representatividad de la toma de muestras con respecto al área del emplazamiento y a la profundidad de aparición de la contaminación.
2. La fiabilidad de los análisis químicos realizados sobre las muestras tomadas.
3. La utilización de valores medios a la hora de “alimentar” al programa con los datos que él mismo va solicitando.
4. El propio desarrollo del conocimiento científico actual en materia de efectos tóxicos y no tóxicos de diferentes compuestos sobre el ser humano en función de las características específicas de su emplazamiento, del tiempo y tipo de exposición e, incluso, de las características específicas del receptor (peso, edad, etc.).

Por su parte, las autoridades Peruanas, a través de la D.G.A.A. del Ministerio de Energía y Minas, han optado el primero de los esquemas señalados anteriormente al editar una serie de Guías (incluidas en el “Proyecto EMTAL”) en las que se recogen los valores incluidos en las Guías editadas por la Secretaría General del Comité Ambiental de ARPEL, las que, a su vez, derivan de los existentes en Canadá (en concreto en la Columbia Británica).

Basándonos en lo anterior, se propone utilizar el sistema consistente en establecer unos valores de referencia, que incluyan Valores-Objetivo, unos Valores de Saneamiento que definan las concentraciones hasta las que debe proseguirse las labores de remediación una vez que éstas se han implementado y unos Valores de Intervención, por encima de los cuales sea obligado proceder al saneamiento del emplazamiento.

Ahora bien, el problema concreto consiste en asignar un valor numérico a cada uno de estos tres conceptos. Seguidamente, se plantea la discusión sobre cada uno de ellos.

## **VALORES-OBJETIVO**

Los Valores-Objetivo se determinan habitualmente en base a la utilización de extensas bases de datos que contienen información acerca de la concentración de los distintos compuestos en diferentes zonas de un país, de manera que de un análisis estadístico de estos datos se extrae un valor que sirve como referencia para evaluar cual es la concentración típica de cada compuesto químico en la naturaleza sin que haya aportes debidos a actividades humanas. Para el caso presente no existe una base de datos de estas características en Perú, por lo que se plantea utilizar la concentración obtenida de los distintos compuestos detectados en el emplazamiento tras el análisis de varias muestras de suelo y agua subterránea tomadas en unas zonas apartadas de la Planta y que, por su localización, probablemente no han sido afectadas por las actividades desarrolladas en la misma.

Las muestras de fondo se han tomado en la zona adyacente a la Planta (Figura 8), para suelos, y en uno de los pozos del Terminal de Almacenamiento de PETROPERU, que en estos momentos está en desuso y se encuentra en la zona ubicada aguas arriba del mismo emplazamiento, para establecer los valores mencionados para el agua subterránea. Además se ha tomado una muestra del sistema contra incendios de PETROPERU, agua que es extraída de otro pozo a 40m. de profundidad, para tener otro valor de referencia. De esta forma se intenta comparar los resultados obtenidos en la Planta de PETROLUBE con la zona adyacente industrial para que los Valores-Objetivo resultantes sean realistas con lo alcanzable en esta zona industrial.

Estos Valores-Objetivo permitirán tener una referencia basada en datos reales y establecer un horizonte a alcanzar en condiciones óptimas.

La Tabla 13, presentan los resultados de los análisis realizados sobre las muestras de suelo y agua subterránea en el exterior del emplazamiento, en zonas que teóricamente no han podido ser afectadas por las actividades de la Planta de Lubricantes. Se propone que estos resultados sean considerados como los valores Objetivo.

## **VALORES DE INTERVENCION**

Dado que, como ya se dijo, las autoridades Peruanas recogen en el Cuadro 11.1 de la Guía para el Manejo de Desechos de las Refinerías de Petróleo, editada por la D.G.A.A. del Ministerio de Energía y Minas de Perú, contienen una serie de estándares, se propone utilizar éstos como referencia. Estos valores se han establecido en función de las características toxicológicas y no toxicológicas de cada compuesto o grupo de compuestos y se proponen como valores límite por encima de los cuales se deben emprender acciones de saneamiento en un determinado emplazamiento.

En aquellos casos en los que no existan valores en las Guías editadas por la D.G.A.A., como ocurre en el caso de las aguas subterráneas (donde se definen valores para el agua potable y para asegurar la vida acuática de agua dulce, pero no para el caso de aguas subterráneas), se ha propuesto utilizar los Estándares Holandeses, al contemplarse en éstos este caso particular. Así pues, los Valores de Intervención que se proponen son los que se indican en la Tabla 14.

## **VALORES DE SANEAMIENTO**

Para fijar los límites de las labores de limpieza se ha realizado una evaluación de los riesgos asociados a cada compuesto químico teniendo en cuenta las particularidades del emplazamiento bajo estudio. Esta evaluación se ha llevado a cabo con la ayuda del programa informático RISCHUMAN, que a su vez está basado en el procedimiento Holandés C-SOIL, diseñado exclusivamente para este tipo de uso (este programa evalúa el riesgo para la salud humana asociada a la presencia de contaminantes en el suelo).

Con lo establecido anteriormente se propone emplear como Valores de Intervención para suelos los incluidos en la columna "C" del Cuadro 11.1 de la Guía para el Manejo de Desechos de las Refinerías de Petróleo, editada por la Dirección General de Asuntos Ambientales, del Ministerio de Energía y Minas del Perú.

Para el caso del agua subterránea se incluyen aquí los Valores de Intervención que se proponen son los que se indican en la Tabla 14.

## **IV.1 ANALISIS DE RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA**

Las rutas de exposición consideradas para la Planta de Lubricantes :

- Ingestión de suelo
- Inhalación de suelo
- Contacto dérmico con suelo
- Inhalación de aire en el interior de edificaciones.
- Inhalación de aire en el exterior de edificaciones.

1. El cociente entre la dosis total para el conjunto de las vías de exposición consideradas para cada compuesto y el Máximo Riesgo Tolerable, MTR es menor de 1, lo que indica que la dosis total estimada es menor que el MTR, por lo tanto no existe un riesgo mayor que el máximo tolerable para una concentración equivalente a la del Valor de Intervención propuesto. En este caso, este Valor de Intervención coincidirá en ser el Valor de Saneamiento propuesto.

2. El cociente anterior es mayor de 1, con lo que el riesgo asociado a la concentración equivalente al Valor de Intervención es mayor que el máximo riesgo tolerable, por lo que se comienza un proceso iterativo hacia concentraciones menores, que termina cuando se encuentra aquel valor que marca el límite, esta concentración a la que se llega de un modo iterativo será, el Valor de Saneamiento propuesto.

### **IV.1.1 Valores de Saneamiento**

Para los suelos bajo la Planta de Lubricantes se ha analizado el efecto que los distintos contaminantes pueden tener sobre la salud humana cuando se encuentran a una profundidad de 0,10 metros debajo de la superficie. Para realizar esta simulación se han introducido como concentraciones de partida los Valores C Peruanos, cuando éstos son superiores a las concentraciones medidas, y estas últimas cuando superan a los primeros. La filosofía de esta metodología pretende garantizar el análisis dentro de un modelo basado en unos parámetros lo más estrictos posibles.

A continuación se ha aplicado el análisis sobre una serie de muestras tomadas a una profundidad de entre 1.50 y 2.50m.. Tomando como profundidad de referencia 2.00m. en las que se han detectado concentraciones superiores a los Valores C Peruanos para los compuestos hexaclorobenceno, hidrocarburos totales (octano), cobalto, níquel y cobre. Al igual que en el primer caso, los resultados muestran que no existen riesgos significativos para la salud humana.

Estos resultados quedan reforzados si tenemos en cuenta que la mayor parte de la Planta está cubierta con concreto y asfalto por lo que la posibilidad que existe para que el personal de la Planta entre en contacto con el suelo contaminado es mínima.

Aparte de los resultados cuantitativos del programa RISCHUMAN, se puede analizar esta cuestión también desde un punto de vista cualitativo. En este sentido se puede comentar lo siguiente:

- Un elemento esencial a la hora de establecer los Valores de Intervención es la existencia de vías de exposición a través de las cuales los contaminantes entren en contacto con los distintos receptores potenciales (seres humanos, animales, flora). En el caso de que no exista, una vía de exposición, se debe considerar que no hay riesgo para la salud humana o el entorno, al no llegar a producirse el contacto entre los contaminantes y los receptores. Esto ocurre por lo menos en un medio dentro del emplazamiento: los suelos en profundidad.
- Los suelos en profundidad, considerados como aquellos no expuestos en superficie, no pueden entrar en contacto con los trabajadores de la Planta o el entorno a menos que se excave, por lo tanto, no se puede hablar de un riesgo para la salud humana o para el entorno en este medio (solamente cuando los suelos se excaven los materiales excavados pasarán a engrosar la categoría de "suelos en superficie" y se les daría el mismo tratamiento que se propone para éstos).

- Respecto a los suelos someros hay que mencionar que la mayor parte de la planta está cubierta con hormigón o asfalto por lo que el contacto es mínimo aunque no se puede excluir las zonas no cubiertas, los compartimentos de varios tanques de almacenamiento, y especialmente cuando se realiza excavaciones. Sin embargo, no hay que olvidar que excepto en un par de casos, y casi siempre a causa de la contaminación de metales, los análisis realizados muestran que no existe una contaminación de los suelos por encima de los Valores C Peruanos. En el caso de las muestras con un contenido elevado en metales, suponemos que esta contaminación esté relacionada con la planta de almacenamiento de minerales de CENTROMIN y no es materia de este estudio.
- En cuanto al agua subterránea somera, en la cual los análisis de laboratorio han demostrado que contiene contaminación generada, en parte dentro de la Planta, como parece ser el caso en el entorno del Pozo P3, y en parte en la Planta de PETROPERU adyacente, como parece ser el caso al menos en el pozo P1, se puede afirmar que la probabilidad de que sea empleada para uso humano parece remota, ya que los pozos de extracción de agua de SEDAPAL alcanzan unos 150 metros de profundidad; sin embargo, para descartar esta posibilidad es necesario realizar estudios adicionales.
- El producto libre no afectará a los seres humanos, siempre que el agua subterránea somera, contaminada por este producto, no llegue a fluir a través de los pozos de SEDAPAL, PETROPERU y/o terceros. En cualquier caso hay que tener en cuenta que el producto libre funcionaría como fuente secundaria de contaminación, recontaminando el acuífero “somero” incluso si se eliminan todos los puntos de contaminación en superficie. Parece por tanto justificado que, dentro de un marco de actuación general para toda el área, se comience recuperando este producto en lo posible.

## **IV.2 Analisis de riesgo para el entorno**

Si ya es grande la incertidumbre existente cuando se evalúa el riesgo de un determinado compuesto químico sobre la salud humana en unas condiciones físico-químicas concretas, la que existe cuando el análisis de riesgo se refiere al impacto

sobre el ecosistema de una zona es aún mayor. Ello se debe a la naturaleza sui géneris de cada una de las especies animales y vegetales, y a la diferente respuesta que cada una de ellas puede dar frente a distintos compuestos. No existe información de fondo que permita evaluar la respuesta de todos y cada uno de los seres vivos existentes frente a cada sustancia química, y por ello, a la hora de evaluar el riesgo de la presencia de los contaminantes sobre el entorno, se tiende a utilizar el análisis de riesgos cualitativos, más que el de riesgos cuantitativos. En este sentido es importante recordar que la Planta se encuentra dentro de un Complejo Industrial que condiciona cualquier estimación que se quiera hacer respecto a la parte de impacto sobre el entorno que le corresponde a la Planta de Lubricantes.

En los Apartados V.2.3.2 y V.2.3.3 se presentan los resultados y las conclusiones del análisis que se ha realizado de los riesgos existentes para el entorno.

Respecto a los suelos, se puede hacer referencia al anterior Apartado, en el que se indicó que la contaminación detectada no supone un riesgo para los seres humanos y, por consiguiente, lo mismo se podría decir del efecto sobre el entorno.

El agua subterránea podría suponer un riesgo para el entorno en cuanto migrase hacia el mar donde podría afectar a la fauna local. Aún así, la ubicación de la Planta hace poco razonable este planteamiento.

En el caso de migrar hacia el mar, afectaría a la fauna del Puerto del Callao, el que ya ha sido contaminado por las actividades que se llevan a cabo dentro del éste. El estudio muestra una dirección de flujo posiblemente inducida por el bombeo dentro de la Planta de PETROPERU, pero no se puede excluir la posibilidad de una migración hacia el mar durante los períodos de lluvia o cuando no se bombea en la planta antes mencionada.

La existencia de producto libre en flotación sí parece hacer necesaria una actuación, ya que éste actuará en un futuro como fuente secundaria de contaminación del agua y el subsuelo. El impacto de este producto sobre la fauna local, en caso de llegar en grandes cantidades al mar, podría ser considerable ya

que dentro del puerto no se espera un oleaje lo suficientemente fuerte para diluirlo y biodegradado con rapidez, tal como sería ser el caso de un mar abierto.

De todas formas, hay que volver a resaltar que cualquier actuación de Remediación que se quiera implantar en el emplazamiento se debería llevar a cabo después del estudio medioambiental de otras plantas adyacentes y en especial la de PETROPERU, sólo entonces se podrá evaluar el verdadero impacto medioambiental de ambas plantas, sobre el entorno y si la implantación de un sistema de saneamiento tendría sentido.

### **IV.3 VALORES DE LOS LIMITES PERMISIBLES PROPUESTOS**

Se proponen los Valores que se indican en las Tabla 14 para evaluar que se deben implementar acciones de saneamiento y hasta qué concentraciones de cada compuesto químico deben extenderse las labores de remediación. Sin embargo, tal como se ha argumentado anteriormente, la inclusión de esta tabla no significa que se proponga una actuación allí donde los Valores de Intervención se sobrepasen.

Respecto a la recuperación del producto libre en su totalidad, hay que decir que dicha recuperación puede ser muy difícil o incluso imposible, ya que esta depende en gran medida de múltiples parámetros tales como las características del suelo, el tipo de producto, la profundidad a la que se encuentra, etc. Por esta razón se requiere un espesor objetivo de saneamiento que pueda ser aceptable. En este sentido hay que indicar que el riesgo que implica el producto consiste básicamente en la recontaminación del acuífero aportando de forma continuada hidrocarburos disueltos al agua subterránea. Si bien parece lógico que a mayor espesor de producto, mayor sea el riesgo existente, debido a que la velocidad de migración puede ser mayor, en realidad no se puede definir un espesor mínimo que garantice la eliminación de todos los riesgos. Para ilustrar esta afirmación sirva el siguiente ejemplo: en el caso de que el riesgo de contaminación de pozos usados para extracción de agua potable fuese directo, es posible que fuese necesaria la instalación de una barrera hidráulica continua, incluso si se llegase a recuperar todo el producto libre especificado en esos presuntos espesores objetivo y saneamiento aceptables, ya que de no existir esta barrera, el producto libre seguiría recontaminando el acuífero y nunca se eliminaría el riesgo. Por esta razón no se

puede determinar, por el momento, un espesor de saneamiento aceptable. Esto dependería de los resultados obtenidos en un estudio más amplio y posiblemente aún después es posible que las partes interesadas tengan que llegar a un compromiso entre el nivel de saneamiento deseable y el realizable.

## V. ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO

Una vez analizadas las prioridades de saneamiento se pueden analizar las alternativas de remediación más adecuadas para la contaminación detectada a aplicar sobre cada uno de los medios contaminados por encima de los Valores de Intervención.

Para la realización de esta tarea se revisaron diversos documentos de la US-EPA (Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América), y se hizo consultas respecto a diversos sistemas de saneamiento y con proveedores y empresas de ingeniería, para a obtener un estimado de los precios de ejecución y mantenimiento asociados a cada una de las alternativas de remediación consideradas).

En las Tablas 15 presentamos las técnicas de saneamiento que se han planteado como factibles y un resumen de los principales puntos a considerar para las diversas técnicas.

### V.1 DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO

Antes de comenzar este Apartado debe señalarse que los costos estimados deben considerarse sólo como orientación, ya que dependen de numerosos factores; por ejemplo, para el caso del doble bombeo para la recuperación del producto líquido en flotación sobre el agua subterránea se da un rango típico de entre 1.000 y 2.000 dólares americanos por metro cúbico, sin embargo, en el caso de la planta de PETROLUBE, bajo la que se calcula que se encontrarían unos 4 m<sup>3</sup> de producto libre, hay que tener en cuenta que los costos de inversión iniciales, tales como la adquisición de bombas, equipo de tratamiento de agua, etc. son relativamente elevados, por lo que el precio real sería bastante más elevado.

Igual que ocurre con este ejemplo, podría ocurrir con otros casos, ya que no se puede aplicar el mismo sistema a una contaminación limitada que a una muy extendida, o a unas concentraciones de contaminantes mayores que a otras relativamente reducidas.

## V.1.1 Tratamiento biológico “in situ” para suelo

### V.1.1.1. Descripción general

La principal ventaja de este tipo de tratamiento es que permite tratar el suelo sin necesidad de excavación o transporte, resultando un ahorro importante de Costos.

Suelos arcillosos pueden absorber los contaminantes y hacerlos así inaccesibles para los organismos, así mismo la concentración de contaminantes, y la presencia de sustancias tóxicas para los microorganismos (p.ej. el mercurio). Estos parámetros son discutidos brevemente a continuación.

1. La concentración de oxígeno en el suelo depende de los siguientes factores:
  - ◆ El grado de humedad del suelo, el agua es fuente de oxígeno, pero una sobresaturación implica el relleno de los poros ocupados por este elemento, inhibiendo su disponibilidad para los microorganismos residentes.
  - ◆ El tipo de suelo, los suelos arenosos y limosos presentan un mayor volumen de poros, y por tanto, una mayor capacidad de almacenamiento de oxígeno, en tanto que en los suelos arcillosos este volumen es menor.
  - ◆ El grado de compactación; en suelos consolidados los poros han sido reducidos, en tanto que en suelos sin consolidar el volumen de poros, y por tanto de oxígeno, pueden ser mayor.
  - ◆ El potencial redox, las reacciones de reducción ocasionan la liberación de oxígeno al medio donde tienen lugar esta reacción.
  - ◆ La concentración de materiales biodegradables, bajas concentraciones estarán asociadas a la liberación de oxígeno.

Es posible actuar sobre la concentración de oxígeno en el medio, para mantener las condiciones aerobias, mediante la inyección de aire a presión o, más habitualmente, de peróxido de hidrógeno (este compuesto tiende a descomponerse rápidamente en agua y oxígeno en presencia de algunos constituyentes del suelo), no obstante, el uso de peróxido de hidrógeno debe ser limitado, porque a altas concentraciones este compuesto resulta para los microorganismos.

2. El agua sirve como medio de transporte a través del cual los nutrientes y los constituyentes orgánicos pasan al interior de la célula microbiana y los productos metabólicos residuales salen fuera de la célula. De esta forma se incrementa el ritmo de la degradación, sin embargo, agua en exceso puede ser perjudicial, al dificultar el paso de oxígeno a través del suelo.

3. Los nutrientes requeridos para las células en crecimiento son nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio, calcio, manganeso, hierro, zinc, cobre y oligoelementos, si los nutrientes no están disponibles en las cantidades necesarias se limitará la actividad microbiana. Normalmente, en un ambiente contaminado, el nitrógeno y el fósforo serán los nutrientes más deficitarios. En general, estos nutrientes son añadidos al sistema de bioremediación a través de diversos compuestos (por ejemplo, el amoníaco para el nitrógeno y los fosfatos para el fósforo). Los fosfatos pueden generar una disminución de la porosidad del suelo como resultado de su reacción con minerales, tales como el hierro y el calcio, formando precipitados estables que llenan los poros del suelo y del acuífero.

4. El pH afecta a la solubilidad y consecuentemente a la disponibilidad de algunos contribuyentes del suelo, que pueden tener efectos positivos o negativos para la actividad biológica. Algunos metales que son potencialmente tóxicos para los microorganismos son insolubles en condiciones de pH elevado, por tanto, el aumento del pH del sistema de tratamiento puede reducir el riesgo de envenenamiento de los microorganismos.

5. La temperatura afecta a la actividad microbiana. El ritmo de biodegradación es directamente proporcional al cambio de la temperatura; en climas fríos esta técnica podría ser ineficiente, a menos que se aplique en un lugar con clima controlado. Una de las aplicaciones consiste en calentar el suelo, aumentando así la velocidad de biodegradación. En el caso de ubicaciones en las que no exista una población bacteriana nativa suficiente, se puede aplicar bacterias específicas: es el denominado "bioaumento", que conlleva el uso de poblaciones microbianas que han sido especialmente cultivadas para la degradación de un contaminante específico o grupos de contaminantes, y algunas veces para sobrevivir bajo condiciones medioambientales especialmente severas.

En algunas ocasiones se recogen los microorganismos presentes en el emplazamiento para ser “criados” de forma separada y posteriormente devueltos al emplazamiento. De esta forma se consigue incrementar rápidamente el número de microorganismos durante las diferentes fases del proceso de remediación, ya que los contaminantes que en un principio se encuentran en mayor concentración son degradados por las bacterias iniciales pasando a ser otros contaminantes los más abundantes.

En el caso de tratarse de hidrocarburos comunes, es suficiente tomar muestras representativas para determinar la presencia y cantidad de poblaciones de microorganismos presentes en el suelo de forma natural, el nivel de nutrientes, la presencia de microbios tóxicos y las características del suelo, tales como el pH, la porosidad y la humedad.

Dentro de este tipo de tratamiento podemos distinguir dos técnicas diferentes para el saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos Biodegradación y Bioventeo.

La **biodegradación** consiste en la estimulación de la actividad natural de los microorganismos existentes en los suelos contaminados mediante la infiltración de soluciones en agua, con el fin de incrementar el contenido en oxígeno y en nutrientes. Además, puede utilizarse enmiendas orgánicas para incrementar la biodegradación y la desorción de contaminantes de los materiales superficiales.

El **bioventeo** consiste en la extracción de aire a muy bajo caudal, generando así un movimiento de oxígeno en los poros del suelo contaminado; de esta manera se incrementa la disponibilidad del oxígeno para los microorganismos y se acelera la biodegradación. La efectividad de esta técnica dependerá del tipo de suelo, ya que en caso de existir limos y arcillas compactadas el contenido de oxígeno será pequeño.

#### **V.1.1.2 Costos Referenciales**

El rango típico de Costos para el tratamiento biológico “in situ” es de 5 a 30 dólares americanos por metro cúbico de material a tratar. Las variables que afectan al

costo definitivo son, entre otras, el tipo y la gravedad de la contaminación, el uso de compuestos añadidos como peróxido, el acceso al emplazamiento, etc.

## **V.1.2 Tratamiento físico/químico “in situ” para suelo**

### **V.1.2.1 Descripción general, ventajas y desventajas**

Al igual que para el tratamiento “in situ”, en este caso la principal ventaja es el ahorro en transporte al tratarse los suelos dentro del emplazamiento.

Como desventajas pueden citarse los largos plazos de saneamiento que son necesarios y la falta de certeza de la uniformidad del tratamiento, debido a la variabilidad de las características del suelo y agua subterránea, ya que la eficacia del proceso en cada momento resulta más difícil de verificar.

El tratamiento físico/químico utiliza las propiedades físicas de los contaminantes o del medio contaminado para eliminar (por ejemplo, a través de un cambio químico), separar o contener la contaminación.

La única técnica de este tipo que resultaría eficaz en el tratamiento de los hidrocarburos presentes en el emplazamiento sería la extracción de vapores del suelo a alto caudal.

Este método consiste en la aplicación de un vacío en sondeos de extracción para crear una presión negativa que induce la volatilización de la fase gaseosa a través del suelo, y hacia los pozos de extracción. El proceso puede incluir un sistema para el tratamiento de gases, en el caso de que la emisión de éstos directamente a la atmósfera diera lugar a un problema de olores o de incumplimiento de la legislación aplicable. El tratamiento físico/químico es, normalmente, eficiente en lo que a Costos se refiere.

En el caso de la contaminación detectada bajo la Planta de PETROLUBE, se considera que podría ser una técnica viable, aunque a plazo de saneamiento sería largo (entre 5 y 10 años). Sin embargo, dado que la contaminación detectada en el suelo no significa riesgos para el personal del emplazamiento, se recomienda no

actuar sobre los mismos mediante esta técnica y dejar que los mismos suelos se biodegraden.

### **V.1.2.2 Costos Referenciales**

El rango típico de Costos para el tratamiento físico/químico “in situ” es de \$ 10 a \$ 50 por metro cúbico de material a tratar.

Las variables que afectan el costo definitivo son: el tamaño del emplazamiento, número de pozos de extracción, tamaño de la bomba de vacío y los requisitos para el tratamiento de emisiones.

### **V.1.3 Tratamiento biológico “ex situ” para suelos, sedimentos y lodos.**

#### **V.1.3.1. Descripción general, ventajas y Desventajas**

La principal ventaja del tratamiento “ex situ” es que generalmente requiere períodos más cortos de ejecución que el tratamiento “in situ” y que hay una mayor certeza con respecto a la uniformidad del tratamiento, debido a la posibilidad de homogeneizar, cribar y mezclar continuamente los suelos. Además, se puede ejercer un mayor control sobre el progreso del saneamiento.

Como desventaja se considera que el tratamiento “ex situ” es comparable a los desarrollados “in situ”, aunque en este caso, los niveles de oxígeno son más fáciles de controlar que en las aplicaciones “in situ”, regulándose típicamente por medio de mezclado mecánico o de ventiladores forzadas. De la misma forma, resulta más fácil distribuir de forma homogénea los nutrientes o bacterias que se necesiten añadir y controlar el resto de parámetros de importancia tales como la humedad, la temperatura y el pH de los suelos.

Los tratamientos biológicos “ex situ” considerados aplicables al emplazamiento incluyen el compostaje, el tratamiento biológico controlado de la fase sólida y el “landfarming”, estas técnicas son muy similares entre sí, variando en pequeñas formas de aplicar los métodos que actúen sobre alguna de las variables antes señaladas.

EL **compostaje** consiste en excavar los suelos y mezclarlos con materiales orgánicos biodegradables, tales como viruta de madera o residuos vegetales. Esta mezcla tiene como primera consecuencia el aumento de la porosidad del suelo, incrementándose así la disponibilidad de oxígeno, además, los restos orgánicos comenzarán a descomponerse, dando lugar al aumento de la temperatura dentro del suelo, con lo que se incrementará la biodegradación de los contaminantes por parte de los microorganismos. Se obtiene una eficiencia máxima de biodegradación manteniendo la humedad, pH, oxigenación, temperatura y la proporción carbono-nitrógeno en su nivel óptimo.

**El tratamiento biológico controlado de la fase sólida** consiste en la excavación de los suelos contaminados y la aplicación de una serie de técnicas combinadas cuyo objetivo final es el control de los parámetros que determinan el ritmo de la biodegradación. En este caso se colocaría el suelo excavado sobre un terreno impermeabilizado para evitar la infiltración de lixiviados al subsuelo; a continuación se instalará un sistema de riego y otro de recojo del agua para recircularla, de manera que a ésta se le puedan añadir nutrientes para aumentar la biodegradación. Se seguiría con la recirculación del agua hasta obtener los resultados deseados.

En general, las instalaciones requeridas en esta técnica, al aplicar un mayor número de métodos para actuar sobre las variables de control de la bioremediación, son más sofisticadas, y por tanto más costosas, que las de la técnica de compostaje.

El “**landfarming**” es similar a la técnica del compostaje excepto que en este caso no se mezcla el suelo con materiales orgánicos para incrementar la porosidad y temperatura del suelo. Esta técnica resulta, por tanto, más barata pero también menos eficaz, por lo que los plazos de remediación se amplían considerablemente.

#### **V.1.3.2. Costos Referenciales**

El rango típico de Costos para el tratamiento biológico “ex situ” depende de la técnica específica elegida. En general los Costos varían entre los \$20 y \$ 500 por metro cúbico de material a tratar.

## **V.1.4 Tratamiento térmico “ex situ” para suelos**

### **V.1.4.1 Descripción general, ventajas y desventajas**

Los tratamientos térmicos ofrecen un tiempo de limpieza breve, pero resultan ser una técnica de tratamiento cara. El costo está determinado por la energía y los Costos de equipo, que requieren una gran inversión, tanto en el ámbito operativo como en el de mantenimiento.

Estos procesos consisten en la aplicación de calor para aumentar la volatilidad de los contaminantes (separación) o bien su combustión, descomposición o detonación (destrucción), o la fundición (inmovilización) de estos. Las dos técnicas que en principio parecen viables son la desorción térmica a baja temperatura (separación) y la incineración, que es un ejemplo de las técnicas de destrucción.

La **desorción térmica a baja temperatura** consiste en el calentamiento del suelo contaminado, después de ser excavado, hasta temperaturas de entre 90 y 320° C para volatilizar así el agua y los compuestos orgánicos que contenga. El sistema lleva acoplado, normalmente, un sistema de vacío para conducir a los vapores hacia una cámara de combustión. Esta técnica se ha mostrado capaz de tratar cualquier tipo de suelo y, además, la combustión de los vapores tiene una eficacia del 95%.

La **incineración** a altas temperaturas, entre 870 y 1.200°C, se puede aplicar a suelos contaminados, aunque su costo resulta excesivo. En el caso de este emplazamiento, este procedimiento no sería rentable ya que la inversión inicial a realizar no estaría compensada por el volumen de suelo a quemar.

### **V.1.4.2. Costos Referenciales**

El rango típico de Costos para el tratamiento térmico ex situ (p.ej. desorción térmica a baja temperatura) está entorno a los \$ 100 - \$ 1500 por metro cúbico de material a tratar.

Los parámetros que más afectan al coste final son la granulometría del suelo (contenido en arcilla) y el coste de energía. A estos Costos habrá que añadir los Costos para excavar el suelo contaminado y reponer el suelo tratado y el coste de ingeniería.

### **Retirada a Vertedero de Seguridad o Planta de Tratamiento**

#### **V.1.5.1. Descripción general, ventajas y desventajas**

Cuando los volúmenes de suelo contaminado son relativamente, pequeños como es el caso bajo la Planta de PETROLUBE, es recomendable excavar dicho suelo y depositarlo dentro de un vertedero de seguridad o llevarlos a una planta de tratamiento. Los Costos de tratamiento se reducen a la excavación, transporte y aceptación y/o tratamiento.

Se considera que esta opción sería la más indicada en el caso de que en un futuro se excaven suelos contaminados por encima del nivel de intervención en el emplazamiento siempre que exista en las cercanías algún vertedero de seguridad o planta de tratamiento, ya que de esta forma se descontaminaría progresivamente el emplazamiento.

#### **V.1.5.2. Costos Referenciales**

El coste de esta opción, dependiendo del volumen de suelo a retirar suele estar entorno a los \$ 300 m<sup>3</sup>.

#### **V.1.6. Atenuación Natural para suelos y aguas Subterráneas**

En este caso se trata simplemente de dejar que las bacterias residentes en el emplazamiento actúen por si solas, sin que se haga ningún tipo de tratamiento, biodegradando los contaminantes.

El costo asociado es casi nulo, y solamente se relaciona con aquellas mediciones que se deben realizar para controlar la evolución de los distintos medios.

Por el contrario, el tiempo de actuación es realmente largo, del orden de decena de años. Sin embargo, dada la ausencia de riesgos para la salud humana que supone la contaminación de los suelos detectada bajo el emplazamiento, se recomienda la aplicación de esta opción.

Sólo en el caso de excavarse suelos contaminados por encima del nivel de intervención se recomendará retirar los suelos a un depósito de seguridad.

### **V.1.7. Tratamiento biológico “in situ” para aguas subterráneas**

#### **V.1.7.1. Descripción general, ventajas y desventajas**

Las técnicas de biorremediación son técnicas destructivas dirigidas a estimular que los microorganismos crezcan y usen los contaminantes como fuente de alimento y energía mediante la creación de un ambiente favorable para estos microorganismos. Generalmente, esto implica un suministro de una combinación de oxígeno, nutrientes y un control de la temperatura y el pH. A veces, se aplican microorganismos adaptados a la degradación de contaminantes específicos para mejorar el proceso.

La principal ventaja el tratamiento “in situ” es que permite que las aguas subterráneas sean tratadas sin necesidad de bombearlas a la superficie, lo que se traduce en un ahorro económico. El tratamiento “in situ” sin embargo, suele exigir períodos largos, y existe menos seguridad con respecto a la uniformidad del tratamiento debido a la variabilidad de las características del acuífero y porque resulta más difícil verificar la eficacia del proceso.

Para los emplazamientos contaminados con hidrocarburos comunes (p.e. gasolina y otros compuestos de fácil degradación), normalmente suele ser suficiente examinar muestras representativas para detectar la presencia y el nivel de las poblaciones autóctonas de microorganismos, los niveles de nutrientes, la presencia de compuestos tóxicos para los microorganismos y las características del acuífero.

Las técnicas de tratamiento biológico “in situ” aplicables al emplazamiento consistirán en el incremento de la concentración de oxígeno, bien mediante el

sistema de “**air sparging**”, o bien mediante la aplicación de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

El sistema denominado “**air sparging**” consiste en la inyección de aire a alta presión bajo el nivel freático. De esta forma se aumenta el contenido en oxígeno del agua subterránea y se mejora la velocidad de biodegradación de los contaminantes por parte de los microorganismos. El oxígeno se inyecta a través de una red de piezómetros cuyo número dependerá del radio de influencia. Este sistema se combina con un sistema de extracción de vapores, para así eliminar los vapores orgánicos generados durante el burbujeo del agua. Un problema de esta técnica podría ser que la cantidad de puntos de inyección requeridos fuese tan elevada que perdiese su rentabilidad.

La aplicación de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) consiste en la circulación de una solución de este compuesto a través del acuífero contaminado. De esta forma se incrementa el contenido en oxígeno del agua subterránea y se incrementa la biodegradación de los compuestos orgánicos.

#### **V.1.7.2. Costos Referenciales**

El rango típico de Costos para el tratamiento biológico “in situ” varía entre los \$ 20 y \$ 1000 por metro cúbico de agua subterránea a tratar.

Los parámetros que más afectan el costo final son la permeabilidad del acuífero, la extensión del despacho de contaminación y la profundidad al nivel freático.

#### **V.1.8. Tratamiento físico/químico “in situ” para aguas subterráneas**

##### **V.1.8.1. Descripción general, ventajas y desventajas**

El tratamiento físico/químico suele ser rentable y puede llevarse a cabo en períodos breves (en comparación con los tratamientos biológicos). En estos casos se trata de técnica contrastada y de relativa fácil accesibilidad en el mercado. Sin embargo, los residuos generados mediante estas técnicas, vapores orgánicos o aguas con

hidrocarburos, podrían requerir tratamiento adicional o gestión posterior, lo cual incrementaría el coste y podría requerir la solicitud de permisos.

El tratamiento físico/químico aprovecha las propiedades físicas de los contaminantes o el medio contaminado para eliminar o separar la contaminación. Las técnicas que se han considerado dentro de este apartado son el “air sparging” y el “air stripping”.

El sistema de **“air stripping”** consiste en bombear el agua subterránea y conducirla a un equipo de venteo, donde se introduce y se pone en contacto con una fuerte contracorriente de aire generada por un ventilador. El contacto del aire con el agua ocasiona una volatilización de los compuestos volátiles orgánicos presentes en el agua, que conducidos a un sistema de tratamiento de vapores. En función de las concentraciones de los contaminantes presentes en el agua, habrá que recircular estas varias veces hasta obtener los valores deseados. Este sistema requiere una fuerte inversión inicial pero tiene, sin embargo, unos Costos de mantenimiento asociados relativamente bajos.

Finalmente se puede contemplar la instalación de una **barrera hidráulica** a base de una serie de pozos de extracción de agua. Los conos de depresión generados crearán una zona hacia la que tienda a migrar el agua somera contaminada. La ventaja es que se podría garantizar que esta agua no migraría hacia los pozos de extracción de aguas potable, por el contrario, no sería una solución para la contaminación por lo que habría que combinarla con otras técnicas como puede ser el air stripping.

#### **V.1.8.2. Costos Referenciales**

El rango típico de Costos para el tratamiento físico/químico “in situ” varían entre los \$ 20 y los \$ 1000 por m<sup>3</sup> de agua tratada.

Los parámetros que más afectan el coste final son la concentración de los contaminantes, la permeabilidad del acuífero del penacho de contaminación y la profundidad al nivel freático.

## **V.1.9. Recuperación del producto libre en flotación sobre el agua subterránea.**

### **V.1.9.1. Técnicas disponibles**

La recuperación del producto libre en flotación sobre el agua subterránea es un aspecto tan importante que en principio debe ser, en muchos casos, el primer tema a resolver. No tiene mucho sentido sanear las aguas contaminadas sin recuperar el producto libre, ya que éste volverá a contaminarlas. Así mismo, un suelo saneado puede volver a saturarse con contaminantes si contiene un nivel con producto libre en profundidad.

Las técnicas de recuperación de producto libre que se han contemplado son las siguientes: la extracción de fluidos totales, la aplicación de la técnica de dos fases y la instalación de "skimmers" (desnatadores). En la práctica, la técnica que se seleccione definitivamente puede consistir en una combinación de dos o más de estas técnicas.

La **extracción de fluidos totales** consiste en la instalación de bombas sumergibles para la extracción de hidrocarburos junto con el agua en un pozo de bombeo o en una zanja. Este bombeo creará un cono de depresión alrededor del pozo de bombeo con lo que se creará un flujo de producto y agua hacia el pozo.

La mezcla de agua y producto tiene que ser separada en superficie para lo que se requerirá la instalación de un separador. Una vez separados, el agua se tratará, si es necesario, y posteriormente se dispondrá, mientras que el producto se podrá volver a refinar.

La **extracción de dos fases** consiste en el bombeo de agua subterránea y producto con ayuda de dos bombas separadas; la bomba de agua se deberá colocar por debajo de la interface producto-agua y servirá para crear un cono de depresión, al cual tenderá a fluir el producto, que será recogido selectivamente por una bomba "skimmer".

Las bombas tipo “**skimmer**” sirven para extraer solamente producto, por lo que no se requiere la instalación de un separador de agua/aceite. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en el caso anterior, no funciona con una bomba sumergible para la extracción de agua, convirtiéndose en un sistema de recuperación pasivo, y su rendimiento será mínimo e insuficiente.

La aplicación de una **bomba de alto vacío** sería, en vista del pequeño volumen de producto que se encuentra bajo el emplazamiento, un sistema viable de recuperación. Esta es una técnica que se ha desarrollado durante los últimos años dando muy buenos resultados. A través de una serie de pozos de succión conectados a la bomba se consigue recuperar tanto la fase líquida como gaseosa de la contaminación existente en el subsuelo. El inconveniente es que no sería tan eficaz si se pretende además descontaminar las aguas subterráneas.

#### **V.1.9.2. Costos Referenciales**

La inversión inicial para la instalación de cualquiera de estas técnicas es bastante elevada por lo que el costo de recuperación de producto libre es de aproximadamente entre 550 y 2000 Dolares/m<sup>3</sup>.

#### **V.1.10. Barreras de Contención.**

##### **V.1.10.1. Descripción general, ventajas y desventajas**

Se trata de un sistema pasivo en el que no se actúa sobre los contaminantes para sanear un medio, sino que solamente se evita la migración de estos contaminantes a otro medio, que en nuestro caso podría ser el mar o los pozos de extracción de agua potable. Estos sistemas implican la instalación de barreras fijas e impermeables que detienen el flujo de los contaminantes disueltos en la parte superior del agua subterránea. Estas barreras se pueden instalar de muy diversas maneras, pero la más habitual es la de excavar una zanja en el lugar a partir del cual se requiere detener la migración de los contaminantes a través del agua subterránea y rellenarla posteriormente con algún tipo de impermeabilizante, como son láminas de polietileno de alta densidad, mezclas de bentonita cemento, concreto e incluso, asfalto.

La ventaja de estas barreras es que resultan relativamente baratas, y que a partir de ellas se puede tener la seguridad de que el medio a proteger no se va a ver afectado por los contaminantes; además su acción es inmediata y no representan una gran dificultad desde el punto de vista de ingeniería. En cuanto a las desventajas, la mayor de ellas es el hecho de que no se sana la contaminación, sino que solamente se contiene; no obstante, este efecto de contención puede favorecer los procesos de biodegradación, aunque dado la lentitud con que éstos actúan no se puede considerar a este sistema como un tipo de saneamiento activo.

En el caso del emplazamiento bajo estudio resultaría muy difícil la instalación de una barrera debido a la profundidad del nivel freático (aproximadamente 8m) y el tipo de suelo dentro del cual se encuentra el producto libre y el agua subterránea contaminada, grava. Por esta razón se debe destinar esta opción.

#### **V.1.10.2. Costos Referenciales**

A modo de ejemplo se puede señalar que la instalación de una barrera de contención de 40 metros de longitud, con una profundidad de 1,5 metros y basada en un relleno de cemento-bentonita fue instalada en España a un costo de 250 dólares americanos por metro lineal de barrera instalada.

### **V.2 Selección de la Técnica de Saneamiento**

#### **V.2.1 Resumen de las técnicas consideradas**

La tabla 18 muestra un resumen de las técnicas comentadas, sus ventajas y desventajas referidas a su aplicación en la Planta de PETROLUBE, su costo medio por metro cúbico y una recomendación de la técnica recomendada. La tabla se ha estructurado según los medios físicos sobre los que se recomienda actuar una vez que se hayan hecho estudios adicionales en las plantas adyacentes, es decir:

- El suelo contaminado por encima del valor de intervención.
- El agua subterránea con hidrocarburos disueltos, y
- El producto libre en flotación bajo la Planta.

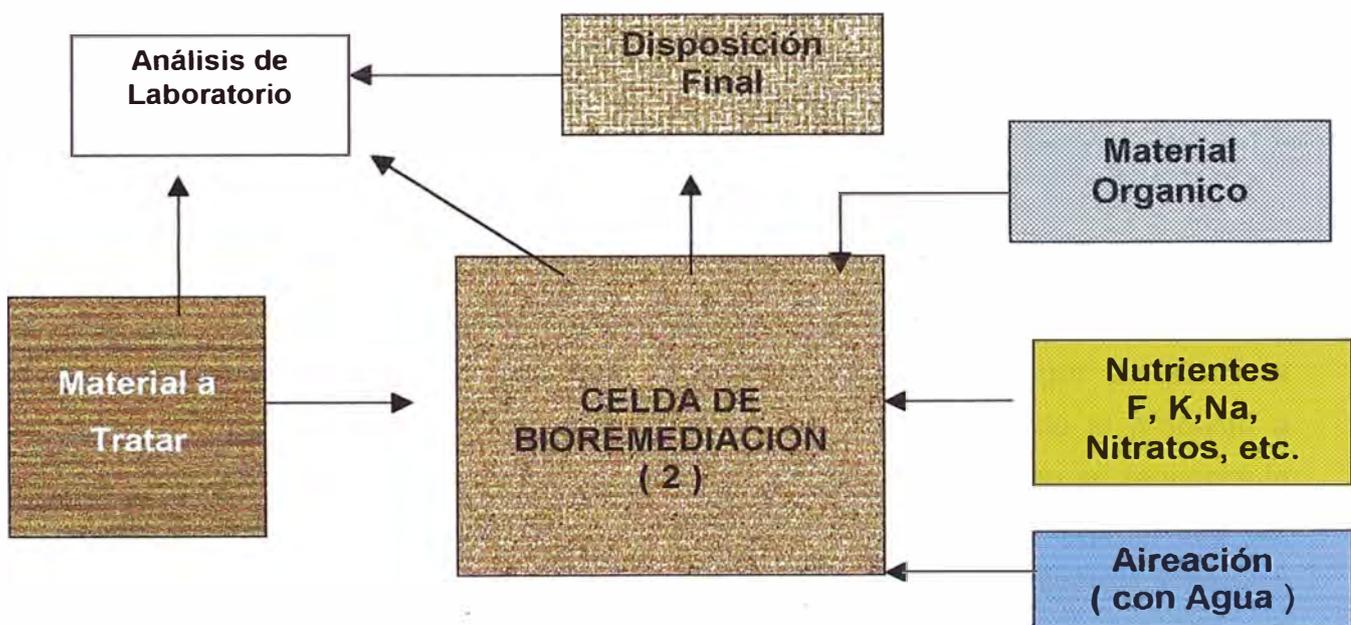
## Metodología

Los suelos contaminados se mezclarán con materiales orgánicos biodegradables, tales como viruta de madera, suelos con alto contenido orgánico o residuos vegetales. Esta mezcla aumentará la porosidad del suelo, incrementándose así la disponibilidad de oxígeno, además, los restos orgánicos comenzarán a descomponerse, dando lugar al aumento de la temperatura dentro del suelo, con lo que se incrementará la biodegradación de los contaminantes por parte de los microorganismos.

Se obtiene una eficiencia máxima de biodegradación controlando los factores abióticos como la humedad, pH, oxigenación, temperatura y la proporción carbono-nitrógeno en su nivel óptimo.

Se controlará los parámetros que determinan el ritmo de la biodegradación. Se colocará el suelo excavado sobre un terreno impermeabilizado para evitar la infiltración de lixiviados al subsuelo; a continuación se instalará un sistema de riego y otro de recojo del agua para recircularla, de manera que a ésta se le puedan añadir nutrientes para aumentar la biodegradación. Se seguirá con la recirculación del agua hasta obtener los resultados deseados.

A continuación se presenta el esquema a emplear



### V.2.3 Técnicas para la recuperación de producto libre

Se han considerado las siguientes técnicas:

- Skimmers
- Bombeo de fluidos totales
- Dos fases
- Bomba de alto vacío.

La instalación de skimmer es un sistema pasivo que recupera el producto en función de su cercanía al pozo de extracción, pero que no crea un cono de depresión, por lo que el radio de influencia se limita al primer metro alrededor del pozo de recuperación. Por esta razón no sería un sistema eficaz ya que la mayor parte del producto no migraría hacia el skimmer.

El bombeo de fluidos implica la necesidad de dar un tratamiento al agua extraída para separar la parte de producto que pueda llevar consigo; esto supone una inversión grande en sistemas de separación que hacen a esta técnica poco viable desde el punto de vista económico, considerando los volúmenes de agua a extraer.

La instalación de una bomba de alto vacío junto a los pozos de succión correspondiente sería otra buena y eficaz opción, en el caso de que sólo se pretenda recuperar el producto libre. Sin embargo, teniendo en cuenta que los riesgos que supone la presencia de producto libre en flotación están directamente relacionados con los que supone el agua contaminada con hidrocarburos disueltos, que es el posible impacto sobre los pozos de extracción de agua contaminada, se recomienda optar por el sistema de dos fases.

En cuanto al sistema de dos fases, se considera que la combinación del skimmer con la extracción de agua por separado es la técnica más variable para la recuperación del producto libre bajo la Planta. En primer lugar porque esta combinación convierte la técnica en un sistema activo, forzando al producto a migrar hacia el pozo de extracción y, en segundo lugar, porque no se requerirá la separación del agua y el producto, con lo que se facilitará la operatividad del sistema. Además, este sistema puede formar parte de una hipotética barrera hidráulica.

### V.2.5. Saneamiento del agua subterránea

Al igual que lo comentado anteriormente, no se recomienda actuar sobre el agua subterránea hasta identificar la situación ambiental bajo las plantas adyacentes, sin embargo para poder planificar una posible futura remediación se han analizado los siguientes sistemas de Saneamiento.

- Aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- Air sparging
- Air stripping
- Barrera hidráulica

En el caso de la aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y el "Air sparging", resultaría bastante difícil el control del avance del proceso, además de requerir mucho tiempo.

Creemos que la técnica óptima sería la combinación del "Air stripping" y una barrera hidráulica ya que de esta forma se evitaría la migración del agua contaminada, incluido el producto libre en flotación, fuera del emplazamiento. En superficie se trataría el agua dentro del "stripper" y a continuación se volvería a reinyectar creando de esta forma un circuito hidráulico que se podría mantener hasta la descontaminación total emplazamiento que podría conseguirse después de unos 15 años.

**Nota :**

- No se han incluido costos de preparación de informes de seguimiento, ni los costos de supervisión por parte por parte de una empresa consultora externa.
- Los precios al paso de aduanas de equipamientos y medios auxiliares cuando es aplicable.

## **VI.2 PRODUCTO LIBRE SOBRE EL NIVEL FREATICO**

En la figura 2 muestra la zona en la que se encuentra el penacho de  $4\text{cm}^3$  de producto libre en flotación.

En cuanto a la cantidad de producto libre recuperable se puede comentar que la eficacia de cualquier sistema de bombeo está limitada por los fenómenos de absorción del producto libre en la matriz sólida en la que éste se encuentra, lo cual hace que en la práctica solamente se pueda recuperar una cierta parte del producto libre sobre el que se actúa, quedando el resto retenido entre los poros del suelo. En el caso, presente, y dadas las características litológicas de los suelos del emplazamiento, se estima que se podrá recuperar aproximadamente un 90% del producto sobre el que se actúa. En este sentido, las partes deberían acordar, en función de la eficiencia que muestre el sistema propuesto en las sucesivas fases de recuperación, si vale la pena seguir con la recuperación. A la hora de hacer esta evaluación se debería de tener en cuenta que el agua subterránea se seguirá recontaminando a causa de la pequeña cantidad de producto libre, y suelo consecuentemente saturado de hidrocarburos, que aún permanezca en el subsuelo.

## **VI.3 TRATAMIENTO DEL NIVEL FREATICO.**

En la figura 12 se presenta la distribución estimada del producto libre en flotación sobre el nivel freático.

El primer paso a dar sería la instalación de una serie de piezómetros adicionales con el objetivo de determinar la extensión del penacho de producto libre. Esto se podría conseguir con la instalación de 5 o 6 piezómetros.

Antes de instalar ningún sistema de recuperación habrá que realizar un ensayo de bombeo con el objetivo de determinar los parámetros hidráulicos correspondientes al acuífero bajo el emplazamiento. A través de este ensayo se podrá determinar

## VI. REMEDIACIONES PROPUESTAS

A continuación se desarrolla el diseño conceptual básico de los sistemas de saneamiento que se propone implementar para cada una de las Areas y cada uno de los medios sobre los que se recomienda actuar.

### VI.1 SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

El volumen de suelo contaminado por encima del valor de intervención es de 650 m<sup>3</sup>. En la figura 10 se muestran los dos núcleos en los que se encuentran. Sin embargo este suelo no supone ningún riesgo para el personal de la planta por lo que se recomienda sólo proceder a la retirada de suelo contaminado en caso de ser este excavado.

El único requisito sería que los suelos fuesen transportados dentro de un contenedor cerrado o cubierto para eliminar la posibilidad de que Pueda salir del mismo antes de la llegada a la planta de tratamiento o al vertedero.

#### Costos Para la Remediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos Por la tecnica de Compostaje

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTID.	PRECIO UNIT	COSTO TOTAL
<b>A. TRABAJOS DE CAMPO</b>				
Transporte de Material	m3	650	10	6500
Costo y Transporte de Insumos Orgánicos	m3	300	20	6000
Operarios para Remoción de Tierras	Dias	300	60	18000
Liner instalada (Geomembrana)	m2	3000	7	21000
Suministro de Agua	m3	18000	1	18000
Nutrientes	Saco	150	180	27000
Autorizaciones y Alquiler de Local (5 meses)	GLOBAL			1000
				<b>\$ 97,500.00</b>
<b>B. MONITOREO Y ANALISIS</b>				
Hidrocarburos Totales		100	100	10000
Mensajeria a laboratorio de USA		100	50	5000
SUB TOTAL				<b>\$ 15,000.00</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO DE GASTOS</b>				<b>\$ 112,500.00</b>

Precio Por metro cubico de Material a tratar \$ 173.08

las características de la bomba sumergible a instalar y el radio de influencia que se obtendrá. En función de este radio se podrá calcular el número de pozos de extracción que habrá que instalar.

Se ha trabajado con la hipótesis de que finalmente se instalarán 3 pozos de recuperación de producto, ambos se instalarán dentro del penacho de producto libre de tal forma que sus respectivos radios de cada uno de los pozos de recuperación.

Sobre el sistema de bombeo a emplear se remite al Apartado VII.4, 4 en el que se justifica la elección de doble bombeo para esta Area.

Se recomienda adquirir 3 bombas para extraer el agua y 3" "skimmers" (desnatadora) neumáticos (además del correspondiente compresor).

En el interior de los pozos de recuperación, que deberán profundizar del orden de 5 metros bajo el nivel freático, se instalará la bomba de agua en la parte inferior (con la boca de aspiración a un metro por encima del fondo del pozo), y en la parte superior se instalará el desnatadora (con la boca de aspiración en la interfase producto-agua). Para controlar que el desnatadora se sitúe en el lugar, se incorporará una pequeña boya, con una densidad menor que el agua y mayor que la del producto, a la cual irá adosado un pequeño tubo por el que entrará el producto libre. De esta manera, no será necesario ajustar las bombas diariamente, aunque cada 2 semanas aproximadamente sería conveniente comprobar que no hay desviaciones respecto a la posición de las bombas.

De cara a minimizar los costos e interrumpir lo menos posible las actividades cotidianas de la planta, todas las conducciones se harán con manguera flexible.

Dado que se pretende trabajar con un caudal de extracción de agua en cada pozo de unos  $6\text{m}^3/\text{hora}$ , en aquellos momentos en que los 3 pozos estén produciendo simultáneamente el agua extraída de los mismos será de aproximadamente  $18\text{m}^3/\text{hora}$ . Esta agua se llevará a un depósito para su homogenización y desde aquí se bombeará para inyectarla en la parte norte y Oeste de la Planta de manera que se cree un gradiente hidráulico artificial hacia la zona donde se sitúa los pozos de

recuperación, con lo que esta agua inyectada hará un efecto de empuje del producto situado en una parte de la zona sobre el cual inicialmente no se pretende actuar.

Respecto al producto libre recuperado se recomienda sea trasladado a una empresa externa que ofrezca garantías de que el producto que se le transfiere será gestionado adecuadamente y utilizado para obtener un aprovechamiento energético a partir de él (lo cual resulta la mejor opción, en caso de que sea viable), o quemado en una unidad de incineración. No obstante, se apunta también la posibilidad de que sea llevado a una instalación de PETROPERU para su aprovechamiento.

El caudal de recuperación medio de cada desnatadora puede ser del orden de 0,5 litros/minuto, por lo que el total estimado que se podría recuperar sería el orden de 0,09m<sup>3</sup>/hora con las 3 desnatadoras, si bien esto dependerá de la facilidad de migración que encuentre el producto libre a través del suelo. De hecho a partir de unos días disminuirá considerablemente la cantidad de producto recuperado diariamente. Este producto se llevará a un depósito para su almacenamiento temporal antes de darle unos de los destinos que se apuntó anteriormente.

Se ha estimado que el sistema deberá estar funcionando durante un período aproximado de 3 años. Aunque la aplicación directa de los caudales de recuperación estimados (0,09m<sup>3</sup>/hora) al volumen total de producto a recuperar (4m<sup>3</sup>) indique que el tiempo requerido es menor, en la práctica se comprueba la recuperación de producto libre mediante un sistema de bombeo sigue a una curva de productividad logarítmica, de manera que inicialmente se recuperan cantidades muy significativas de producto a un buen ritmo, y paulatinamente estas cantidades decrecen hasta llegar a un punto en que es necesario extraer grandes cantidades de agua, con los siguientes problemas y costos asociados a su tratamiento, para recuperar pequeñas cantidades de producto.

La figura 15 muestra un pozo de bombeo instalado para la recuperación de producto libre. En esta figura se pueden apreciar tanto la bomba sumergible como la desnatadora.

**TABLA 38: Costo para los trabajos de recuperación y tratamiento del producto libre bajo la Planta.**

Concepto	Subtotales (dólares americanos)		
Ensayo de Bombeo	20,000		
Infraestructura	50,000		
Coste de Personal Durante la instalación	34,000		
Coste de Ejecución	Mensual(US\$)	1,000	36,000
	Nº de años	3	
<b>Total (US\$)</b>	<b>140,000</b>		

**Nota :**

- "Infraestructura" incluye los costos del material, equipos y maquinarias que se adquieran para cada sistema de saneamiento.
- "Instalación" se refiere a la instalación de equipos y maquinarias que se adquieran para el sistema de saneamiento.
- "Costos del personal durante la instalación" es el costo de la mano de obra durante esta fase de instalación de cada sistema de saneamiento.
- Este presupuesto es estimado, el margen de error estimado para el mismo es del +-25%.
- No se han incluido costos de preparación de informes de seguimiento, ni los costos de supervisión por parte por parte de una empresa consultora externa.
- Los precios al paso de aduanas de equipamientos y medios auxiliares cuando es aplicable.

#### **VI.4 TRATAMIENTO DEL AGUA SUBTERRANEA CONTAMINADA**

En la figura 12 se muestra la distribución del agua subterránea contaminada con hidrocarburos. Tal como se ha comentado anteriormente, se estima que la cantidad de agua contaminada por hidrocarburos por encima del valor de intervención podría ser de unos 58,000m<sup>3</sup>.

Como se ha mencionado en el Apartado VII.4.5, la mejor opción de remediación sería la aplicación de un sistema de "Inyección de Aire" junto a una barrera hidráulica.

Antes de instalar ningún sistema de recuperación habrá que realizar un ensayo de bombeo con el objeto de determinar los parámetros hidráulicos correspondientes al acuífero bajo el emplazamiento, mediante este ensayo se podrá determinar las

características de las bombas sumergibles a instalar y el radio de influencia que se obtendrá. En función de este radio se podrá calcular el número de pozos de extracción que habrá que instalar.

Se ha trabajado con la hipótesis de que finalmente se instalarán 10 pozos de extracción de agua. La ubicación habría que determinar en función de los resultados obtenidos en el estudio de las plantas adyacentes.

Existe un inconveniente que limita los resultados finales que se puedan obtener con cualquier técnica: en el caso de existir producto libre en flotación sobre el nivel freático, como es el caso bajo el emplazamiento, este producto volverá a contaminar el acuífero, con lo que el saneamiento de las aguas subterráneas nunca se conseguirá. En este caso habrá que llevar cabo el saneamiento del agua subterránea junto a la recuperación del producto libre. Aún así, una vez recuperado el producto libre, la experiencia demuestra que siempre se quedará una cantidad de producto residual absorbido al suelo, en contacto directo con el nivel freático. Normalmente, con las fluctuaciones del nivel freático, se irá lavando esta parte del suelo y así se volverá a diluir parte de los hidrocarburos en el agua. La consecuencia es que, de una forma u otra, el saneamiento total del agua resulta muy difícil.

A continuación se describe el proceso de descontaminación que se llevaría a cabo, la figura 16 muestra un esquema del sistema que aquí se describe.

En los pozos se instalarán bombas sumergibles, de las que hipotéticamente se ha ~~estimado~~ estimado que trabajarán con una caudal de  $6 \text{ m}^3/\text{hora}$ . El agua bombeada se conducirá hacia un tanque de homogeneización. En este tanque se sedimentará los posibles finos y además, se facilitará su suministro regulado hacia un separador de agua/aceite, con el fin de separar el posible producto libre que pueda ser bombeado, especialmente en el área del penacho de producto libre. Desde el separador se enviará el agua hacia una torre de aireación, con dimensiones de 2,60m de diámetro y 13 m de altura, en ésta el agua se pondrá en contacto con una contracorriente de aire producida por un ventilador con una potencia de 15 caballos. Este ventilador genera un caudal de aire de  $12.000 \text{ m}^3/\text{h}$  y su capacidad de tratamiento de agua alcanza los  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ . De momento no está previsto el

tratamiento de los vapores procedentes de la torre de aireación, pero esto se podría incluir a petición de las partes. La torre está diseñada para actuar sobre los hidrocarburos ligeros, mientras que los hidrocarburos restantes se eliminarían en un filtro de carbón activo colocado en serie con la torre.

Finalmente está previsto inyectar el agua tratada aguas arriba del emplazamiento para recargar el acuífero y diluir la concentración de la contaminación del agua que aún se encuentre bajo el mismo. Además, de esta forma se conseguirá un circuito equilibrado de agua subterránea de tal forma que no migre agua contaminada de otras zonas hacia el emplazamiento.

Respecto al período de tiempo que este sistema tendría que estar funcionando no se pueden hacer estimaciones exactas. Este tipo de sistemas funciona a base de realizar numerosos ciclos de tratamiento/inyección del agua. Cada uno de ellos puede llevar un tiempo prolongado, dadas las dimensiones del emplazamiento, por lo que el proceso se ha estimado que debería continuarse durante, al menos, unos 15 años. Por otra parte, tal y como se ha dicho al comienzo de este Apartado, la existencia de producto libre en flotación volverá a contaminar el acuífero, por lo que es posible que aún esta previsión se queda corta si se piensa en rebajar las concentraciones de hidrocarburos totales por debajo del correspondiente Nivel de Saneamiento.

### **Costo de ejecución estimado**

La siguiente Tabla 19 presenta el costo para el sistema de saneamiento recomendado. Hay que indicar que a falta de datos importantes, tales como parámetros hidrológicos locales, situación medioambiental de las plantas adyacentes, se presentan cantidades hipotéticas basadas en las descripciones de los Apartados anteriores.

**TABLA 19 Costo para los trabajos de recuperación y tratamiento de agua subterránea**

Concepto	Subtotales ( Dolares Americanos )
Infraestructura	150,000
Instalación	240,000
Costo de personal Durante la Instalación	<b>Mensual ( US\$ 2,000)</b>
	<b>N°de años 15 360,000</b>
<b>Total (US\$)</b>	<b>600,000</b>

**Nota :**

- "Infraestructura" incluye los costos del material, equipos y maquinarias que se adquieran para cada sistema de saneamiento.
- "Instalación se refiere a la instalación de equipos y maquinarias que se adquieran para el sistema de saneamiento.
- "Costos del personal durante la instalación" es el costo de la mano de obra durante esta fase de instalación de cada sistema de saneamiento.
- Este presupuesto es orientativo, el margen de error estimado para el mismo es del +-25%.
- No se han incluido costos de preparación de informes de seguimiento, ni los costos de supervisión por parte por parte de una empresa consultora externa.
- Los precios al paso de aduanas de equipamientos y medios auxiliares cuando es aplicable.

## VII CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se desprende de esta tesis son las siguientes:

1. El emplazamiento bajo estudio se encuentra rodeado de industrias potencialmente contaminantes. Esto significa que parte de la contaminación que se pueda encontrar en el suelo y agua subterránea bajo la Planta puede tener origen en alguna de las instalaciones adyacentes. En este sentido parece que las empresas que más pueden haber afectado a la Planta de PETROLUBE son las instalaciones de PETROLUBE y CENTROMIN.
2. Los dos elementos que merecen consideración ya que podrían llegar a significar algún riesgo para la salud humana y/o entorno, son la capa de producto libre en flotación sobre el nivel freático y los hidrocarburos disueltos en el agua subterránea.
3. La decisión de actuar sobre el producto libre y el agua subterránea contaminada con hidrocarburos disueltos identificados por el presente estudio debe adoptarse en el marco de un estudio mayor que abarque las instalaciones de la Planta de PETROLUBE.
4. Se propone adoptar como Valores Objetivo, de Saneamiento y de Intervención aquellos recogidos en las Tablas Nº 30 y Nº 3 indicadas en el apartado V.3 de esta tesis. Estos valores podrían ser de aplicación al agua subterránea y el producto libre siempre que a través de estudios adicionales en las plantas adyacentes se determine la necesidad de actuar sobre la contaminación detectada.
5. Las conclusiones que se desprenden de los resultados de Laboratorio son los siguientes:
  - Todas las muestras de suelos analizados para hidrocarburos totales están contaminadas con hidrocarburos pero en tan sólo 3 se supera el Valor C. Se trata de las muestras S4-A (5,114 mg/Kg) y las muestras tomadas en el Sótano en el lugar donde se encontraba el antiguo tanque semienterrado.

- Resulta imposible estimar el volumen de suelo contaminado con hidrocarburos por encima del nivel de Intervención bajo la Planta, debido a que la densidad de sondeos realizados en relación a la contaminación detectada no permite hacer una extrapolación objetiva, necesaria para este cálculo.
- En una muestra se ha detectado un valor superior al Valor C. Se trata del compuesto hexaclorobenceno en la muestra S5-B (14 mg/Kg) tomada a 1.90 m de profundidad.
- Existe una ligera contaminación del subsuelo del emplazamiento con PCBs, sin embargo, no se llega a sobrepasar el Valor C.
- Existe una contaminación por metales en el subsuelo del emplazamiento, se ha detectado valores superiores a los Valores C correspondientes de Cobalto (21,506 mg/kg). También se han detectado valores superiores a los Valores C en la muestra CALLE, tomada fuera del emplazamiento como muestra de fondo, lo cual indica que la contaminación de metales detectada está probablemente ocasionada por actividades externas a PETROLUBE. Respecto a las concentraciones detectadas para el cobalto y el níquel, si bien parecen excesivas, se desconoce el origen de las mismas.

7. El producto libre detectado corresponde aproximadamente a un destilado medio que podría consistir en una mezcla de gasolina, keroseno y gasóleo. Teniendo en cuenta que en la Planta de PETROLUBE no se maneja este tipo de combustible y considerando la ubicación del penacho, se cree probable que el lugar de infiltración de este producto se encuentre dentro de la Planta de PETROPERU, posiblemente bajo el Puente de Despacho de hidrocarburos que se encuentra al lado Norte de la pared.

8. Los volúmenes totales de los medios contaminados por encima de los Niveles de Intervención correspondientes y teniendo en cuenta las consideraciones presentadas en el Apartado IV.3.3 son los siguientes:

650m<sup>3</sup> de suelo contaminado con hidrocarburos.

58,000m<sup>3</sup> de agua subterránea contaminada con hidrocarburos.

4m<sup>3</sup> de producto libre en flotación.

1. La decisión de actuar sobre el producto libre y el agua subterránea contaminada con hidrocarburos disueltos identificados por el presente estudio debe adoptarse en el marco de un estudio mayor que abarque las instalaciones de la Planta de PETROPERU.

- 9 No se tiene constancia de que en el pasado, antes del 30 de agosto de 1996, hayan existido fuentes de contaminación en la Planta. Sin embargo, durante la inspección visual de la planta y la realización de la investigación de vapores orgánicos se ha detectado la presencia de suelo contaminado con hidrocarburos en 4 zonas de la planta. Estas zonas son :

Dos zonas dentro del Patio de Tanques. Estas zonas corresponden con la zona Centro/Norte de éste.

Los compartimentos que se encuentran en el área Suroeste del emplazamiento (Tanques 32,34 y 35)

El suelo bajo el antiguo tanque Semienterrado en la Zona de Mezclados.

10. No se tiene constancia de que existan fuentes de contaminación activa dentro de la Planta con posterioridad al 30 de agosto de 1996.
11. El emplazamiento bajo estudio se encuentra rodeado de industrias potencialmente contaminantes. Esto significa que parte de la contaminación que se pueda encontrar en el suelo y agua subterránea bajo la Planta puede

tener origen en alguna de las instalaciones adyacentes. En este sentido parece que las que más pueden haber afectado a la Planta de PETROLUBE son las instalaciones de PETROPERU y CENTROMIN.

12. Un aspecto importante que se desprende de esta tesis es la probable presencia de dos acuíferos bajo el emplazamiento, separados por un nivel impermeable. Según un responsable de SEDAPAL, la literatura consultada y técnicos que conocen la hidrogeología de la zona, no existe tal separación, sino que se trata de un acuífero discontinuo repartido en lentes.
13. La dificultad que existe para asegurar la presencia, aunque sólo sea probable, de capas impermeables continuas significa que, no se puede excluir el impacto de la contaminación generada en la zona industrial sobre las capas del acuífero del que SEDAPAL extrae en este momento agua potable.
14. Los valores obtenidos durante la investigación de vapores orgánicos en el subsuelo del emplazamiento indican que no existe una contaminación significativa del suelo por parte de este tipo de vapores.

Estos resultados pueden estar relacionados con el tipo de hidrocarburo, que haya podido infiltrarse históricamente bajo el emplazamiento, el carácter arcilloso del subsuelo o porque el suelo está relativamente limpio bajo la mayor parte del emplazamiento.

15. Bajo el emplazamiento se encuentra un acuífero a una profundidad que varía aproximadamente entre los 5 y los 8 metros. El acuífero tiene características de acuífero abierto y se considera que se trata del mismo que se ha descrito para el resto de la zona. Según las descripciones regionales, este acuífero podría tener una potencia que sobrepasa los 300m.
16. La dirección local del agua subterránea tiene un componente Este. Se cree que esta dirección puede ser inducida por el bombeo que se hace en la planta de PETROPERU para el suministro de agua para el sistema contra incendios. El pozo de bombeo se encuentra aproximadamente en la dirección indicada.

18. Los resultados de los Ensayos de permeabilidad que se llevaron a cabo en los piezómetros P2, P3 y P4 han dado valores de entre  $2,1 \cdot 10^{-7}$  m/sec y  $5,3 \cdot 10^{-7}$  m/sec. Estos valores coinciden con una Permeabilidad Baja.

19. Las conclusiones más importantes de los análisis de laboratorio son:

Todas las muestras de suelos fueron analizadas por hidrocarburos pero en tan sólo 3 se supera el Valor C.

En una muestra de suelo se ha detecto un valor superior al Valor C para el compuesto hexaclorobenceno

Existe una ligera contaminación del subsuelo del emplazamiento con PCBs, sin embargo, no se llega a sobrepasar el Valor C.

Existe contaminación por metales en el subsuelo del emplazamiento. En el caso del Cobalto, Níquel, Cobre y Arsénico se han detectado valores superiores a los valores C correspondientes. Sin embargo, también se han detectado valores superiores a los Valores C en la muestra CALLE, tomada fuera del emplazamiento como muestra de fondo, lo cual indica que la contaminación de metales detectada está probablemente ocasionada por actividades externas a PETROLUBE. Respecto a las concentraciones detectadas para el cobalto y el níquel, si bien parecen excesivas, se desconoce el origen de las mismas.

Resulta imposible estimar el volumen de suelo contaminado bajo la Planta, debido a que la densidad de sondeos realizados en relación con la contaminación detectada, no permite hacer una extrapolación objetiva necesaria para este cálculo.

El agua subterránea debajo del emplazamiento esta contaminada con hidrocarburos totales por encima del Valor de Intervención Holandés. Una parte de esta contaminación ha sido ocasionada probablemente en la misma Planta, es el caso, por ejemplo, de la zona del piezómetro P3, en donde coinciden tanto contaminación en el suelo como en el agua, en los pozos P1 y

P2 probablemente la contaminación haya sido generada en la Planta de PETROPERU.

El valor detectado en la muestra PPP, tomada en un pozo dentro de las instalaciones de PETROPERU, en la zona aguas arriba de ese emplazamiento, demuestra que el Valor de fondo de las concentraciones de hidrocarburos totales está cercano al Valor de Intervención Holandés, lo cual confirma el impacto medioambiental de las actividades adyacentes a la Planta de PETROLUBE.

El agua subterránea en la zona del pozo P3 contiene concentraciones de etilbenceno y tolueno superiores a los Valores de Intervención Holandeses. Este dato coincide con la elevada concentración de hidrocarburos totales detectada en este mismo punto. No se puede descartar la presencia de los mismos en otros pozos que no han sido analizados para estos compuestos.

El agua subterránea en la zona del pozo P3 contiene concentraciones de dimetilftalato y bis (2-etilhexil) ftalato superiores a los Valores de Intervención Holandeses que se dan para la suma de los ftalatos. Este dato coincide con las elevadas concentraciones de hidrocarburos totales, tolueno y etilbenceno detectadas en este mismo punto. El resto de los sondeos no muestran indicios de estos compuestos, sin embargo, no se puede descartar la presencia de los mismos en muestras de otros pozos que no han analizado para estos compuestos.

En dos de las cuatro muestras de agua subterránea analizadas se supera el Valor de Intervención Holandés para el arsénico y el bario. Sin embargo, no se puede descartar que esta contaminación esté relacionada con las elevadas concentraciones de metales detectadas en el suelo y las que se supone pueden estar relacionadas con otras actividades.

No existe indicios que hagan pensar en una contaminación del subsuelo causada por fugas de las tuberías propiedad de PETROLUBE, que conectan esta Planta con el Muelle N° 4.

Los dos elementos que merecen consideración ya que podrían llegar a significar algún riesgo para la salud humana y/o el entorno, son la capa de producto libre en flotación sobre el nivel freático y los hidrocarburos disueltos en el agua subterránea que está directamente relacionado con el primero. Esta conclusión requiere las siguientes puntualizaciones y consideraciones.

El producto libre no afectará a los seres humanos, siempre que el agua subterránea somera, contaminada por este producto, no llegue a fluir a través de los pozos de **SEDAPAL, PETROPERU** y/o terceros.

Gran parte de esta contaminación se ha generado, en otros emplazamientos circundantes, en especial en el Terminal de PETROPERU, producto libre en flotación sobre el nivel freático y una parte de los hidrocarburos en el agua subterránea, y en CENTROMIN, elevadas concentraciones de metales en los suelos en general.

## VIII RECOMENDACIONES

1. La decisión de actuar sobre el producto libre y el agua subterránea contaminada con hidrocarburos disueltos identificados por el presente estudio debe adoptarse en el marco de un estudio mayor que abarque las instalaciones de la Planta de PETROPERU.
2. Se propone adoptar como Valores Objetivo, de Saneamiento y de Intervención aquellos recogidos en las Tablas N° 30 y 31 incluidas en el apartado V.3 de este informe. Estos valores podrían ser de aplicación al agua subterránea y el producto libre siempre que a través de estudios adicionales en las plantas adyacentes se determine la necesidad de actuar sobre la contaminación detectada.
3. Se podría actuar de forma independiente sobre el suelo, si se considerase que independientemente de la ausencia de riesgos para la salud humana dicha actuación fuese necesaria, pero en ningún caso convendría actuar sobre el agua subterránea o el producto libre sin conocer las consecuencias en los emplazamientos cercanos. La razón es muy sencilla, el bombeo de agua subterránea o producto libre bajo el subsuelo de PETROLUBE podría fácilmente, movilizar el agua subterránea, probablemente también contaminada, o el producto libre bajo la Planta de PETROPERU. De esta forma se ocasionaría una migración de contaminantes, cuyos volúmenes se desconocen, hacia PETROLUBE. La actuación se podría prolongar de esa manera eternamente.
4. En el caso de que en el futuro se excaven suelos someros y profundos contaminados, éstos deberán ser retirados como residuos tóxicos y peligrosos. Esta recomendación será considerada en el caso del suelo contaminado por encima del Valor de Intervención en los dos núcleos descritos anteriormente o en otros lugares que puedan aparecer durante futuras excavaciones en zonas alejadas de los sondeos realizados
5. Es conveniente llevar a cabo un programa sistemático de revisión del estado de los tanques para detectar posibles fugas.

6. Para el producto libre, al igual que para el agua subterránea, una actuación sólo sería aconsejable una vez analizada la situación bajo los emplazamientos adyacentes. Sin embargo, la existencia de producto libre en flotación sobre el nivel freático supone un riesgo mayor que el del agua subterránea contaminada ya que este producto constituirá una fuente de contaminación secundaria que continuará recontaminando el agua subterránea incluso si se eliminan en superficie todas las fuentes de aportación de hidrocarburos al subsuelo y agua subterránea.
7. Para los suelos contaminados se ha recomendado Bioremediarlos por la técnica Compostaje la cual consiste en la estimulación de la actividad natural de los microorganismos existentes en los suelos contaminados mediante la infiltración de agua, oxígeno, suelo sin contaminación, nutrientes y enmiendas orgánicas.
8. Para el producto libre en flotación se ha recomendado La instalación de skimmer es un sistema pasivo que recupera el producto en función de su cercanía al pozo de extracción, pero que no crea un cono de depresión, por lo que el radio de influencia se limita al primer metro alrededor del pozo de recuperación. Por esta razón no sería un sistema eficaz ya que la mayor parte del producto no migraría hacia el skimmer.
9. Para el Agua Subterránea la técnica recomendada sera la combinación del "Air stripping" y una barrera hidráulica ya que de esta forma se evitaría la migración del agua contaminada, incluido el producto libre en flotación, fuera del emplazamiento. En superficie se trataría el agua dentro del "stripper" y a continuación se volvería a reinyectar creando de esta forma un circuito hidráulico que se podría mantener hasta la descontaminación total emplazamiento que podría conseguirse después de unos 15 años.

**ANEXO B:**  
**RELACION DE TABLAS**



Muestra	Prof. (m)	Hcarb. Total es (HCT)	Hcarb. Policic. Arom. (HPA) <sup>(1)</sup>	Hcarb. Arom. Volát. (HPA) <sup>(2)</sup>	Hcarb. Arom. Semi-Vol (HPA) <sup>(3)</sup>	PCB's	Metales <sup>(4)</sup>	PH <sup>(5)</sup>	Granulometría	Mat. Org.
S6-A	4.55-4.75	XXX						XXX		
S6-B	5.70-5.90	XXX								
S6-C	5.10-5.30								XXX	
S7-A	2.00-2.20	XXX						XXX		
S7-B	3.70-3.90	XXX								XXX
S7-C	4.60-4.80								XXX	
S8-A	1.70-1.90						XXX			
S8-B	3.30-3.50	XXX								
S8-C	2.80-3.00								XXX	
S8-D	6.50-6.70	XXX						XXX		
S9-B	4.00-4.20	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX		XXX		
S9-C	4.90-5.10	XXX								
C1		XXX								XXX
C2		XXX						XXX		
SOTANO	0.25	XXX						XXX		

<b>CALLE</b>	0.25	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX		
<b>Total</b>		<b>27</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

**Notas:**

XXX : Análisis realizado

- (1) Los Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPAs) analizados incluyen los siguientes compuestos: acenafteno, acenaftileno; antraceno; benzo(a) antraceno; benzo(a) pireno; benzo (b) fluoranteno; indeno (1,2,3,c,d)pireno; naftaleno y pireno.
- (2) Los Hidrocarburos Aromáticos Volátiles (HAVs) analizados en las muestras son los siguientes: benceno, etilbenceno, tolueno y xilenos. Ste grupo viene referido normalmente como BTEX.
- (3) Los Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles (HASVs) analizados han sido los siguientes: 2 - clorfenol, di-n-butylftalato, dimetilftalato, bis (2-etilhexy)ftalato, hexaclorobenceno, pentaclorofenol, fenol, 1,2,4-triclorobenceno, 2-4-5 triclorofenol, 2,4,6-triclorofenol.
- (4) Se analizaron los siguientes metales: Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Ba, Pb y Hg.
- (5) Los ensayos de pH se realizaron en el Laboratorio.

**TABLA 3 : PROGRAMA ANALÍTICO PARA LAS MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA TOMADAS EN LA PLANTA DE LUBRICANTES.**

<b>Muestra</b>	<b>Hcarb totales (HCT)</b>	<b>Hcarb polici. arom. (HPA) (1)</b>	<b>Hcarb . arom. Volát. (HAV) (2)</b>	<b>Hcarb . arom. Semi-vol (HASV) (3)</b>	<b>PCB's</b>	<b>Metales</b>	<b>PH (5)</b>
P2	XXX					XXX	XXX
P3	XXX		XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
P4	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX		XXX
S1	XXX						XXX
S2	XXX						XXX
S3	XXX						XXX
S4	XXX						XXX
S5	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX		XXX
S6	XXX		XXX	XXX	XXX		XXX
S7	XXX	XXX				XXX	XXX
S8	XXX	XXX				XXX	XXX
S9	XXX						XXX
CI	XXX						

PPP	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>14</b>

**TABLA 4 : PROGRAMA DE ENSAYOS PARA LAS MUESTRAS DE PRODUCTO LIBRE TOMADAS EN LA PLANTA DE LUBRICANTES.**

Muestra	Curva Destilación	Viscosidad	Densidad
P1	XXX	XXX	XXX
Total	1	1	1

**TABLA 5 : MÉTODOS ANALÍTICOS PARA MUESTRAS DE SUELOS**

Parámetro	Método	Técnica
Hidrocarburos totales	ISO/TR 11046:1994	Espectrofotometría de Infrarrojos.
HAPs	EPA 8100	Cromatografía/FID
HAVs (BTEX)	EPA 8020	Cromatografía/FID
HASVs	EPA 8270	Cromatografía/FID
PCBs	EPA 8080	Cromatografía/ECD
Arsénico (As)	EPA 7060	Absorción atómica/Gen. Hidruros.
Bario (Ba)	EPA 7080	Absorción atómica / llama
Cadmio (Cd)	EPA 7131	Absorción atómica / llama
Cobalto (Co)	EPA 219.1	Absorción atómica / llama
Cobre (Cu)	EPA 7210	Absorción atómica / llama
Cromo total (Cr)	EPA 7190	Absorción atómica / llama
Mercurio (Hg)	EPA 7471	Absorción atómica / Gen. Hidruros
Niquel (Ni)	EPA 7520	Absorción atómica / llama
Plomo (Pb)	EPA 7420	Absorción atómica / llama
Zinc (Zn)	EPA 7950	Absorción atómica / llama
Ph	IS/DIS 10390	Electrodo Selectivo

**TABLA 6: MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LAS MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA**

Parámetro	Método	Técnica
Hidrocarburos total	EPA 418.1	Infrarrojos
HAPs	EPA 8310	Cromatografía líquidos
HAVs (BETX)	EPA 8020	Cromatografía / FID
HASVs	EPA 8070	Cromatografía / FID
PCBs	EPA 8080	Cromatografía / ECD
Arsénico (As)	EPA 7060	Absorción atómica/Gen. Hidruros
Bario (Ba)	EPA 7080	Absorción atóm./Grafito
Cadmio (Cd)	EPA 7131	Absorción atóm./Grafito
Cobalto (Co)	EPA 219.1	Absorción atóm./Grafito
Cobre (Cu)	EPA 7190	Absorción atóm./Grafito
Mercurio (Hg)	EPA 7471	Absorción atómica/Gen. Hidruros
Níquel (Ni)	EPA 7520	Absorción atóm./Grafito
Plomo (Pb)	EPA 7420	Absorción atóm./Grafito
Zinc (Zn)	EPA 7950	Absorción atóm./Grafito
PH		Medición Manual

**Métodos para la Muestra de Producto Libre**

Parámetro	Método	Técnica
Densidad	ASTM D86	Volumetría + Gavimetría
Viscosidad	ASTM D445	Medida en viscosímetro
Curva de destilación	ASTM D86	Recogida de destilados a distintas temperaturas.

**TABLA 7 : RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE DETECCIÓN DE VAPORES ORGÁNICOS.**

Punto	Prof. (m)	Pico (ppm)	Régi. (ppm)	Punto	Prof. (m)	Pico (ppm)	Régi. (ppm)
1 <sup>(1)</sup>	1.00	0	0	2	1.00	0	0
	2.00	0	0		2.00	0	0
3	1.00	0	0	4	1.00	0	0
	2.00	0	0		2.00	0	0
5	1.00	0	0	6	1.00	0	0
	2.00	0	0		2.00	0	0

<b>Punto</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Pico (ppm)</b>	<b>Régi. (ppm)</b>	<b>Punto</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Pico (ppm)</b>	<b>Régi. (ppm)</b>
7	1.00	0	0	8	0.50	0	0
	Rechazo <sup>(2)</sup>				Rechazo		
9	1.00	0	0	10	1.00	0	0
	Rechazo				2.00		
11	0.50	0	0	12	1.00	0	0
	Rechazo				1.80		
13	1.00	0	0	14	1.00	0	0
	2.00				2.00		
15	1.00	0	0	16	1.00	0	0
	Rechazo				2.00		
17	1.00	0	0	18	1.00	0	0
	Rechazo				2.00		
19	1.00	0	0	20	1.00	0	0
	2.00				Rechazo		
21	1.00	0	0	22	1.00	0	0
	2.00				2.00		
23	1.00	0	0	24	1.00	0	0
	2.00				2.00		
25	1.00	0	0	26	1.00	0	0
	1.80				1.80		
27	1.00	0	0	28	0.60	0	0
	Rechazo				Rechazo		
29	1.00	0	0	30	1.00	0	0
	2.00				2.00		
31	0.70	0	0	32	1.00	0	0
	Rechazo				2.00		
33	1.00	0	0	34	1.00	0	0
	2.00				Rechazo		
35	1.00	0	0	36	1.00	0	0
	2.00				2.00		
37	1.00	0	0	38	1.00	0	0
	2.00				2.00		
39	1.00	0	0	40	1.00	0	0
	2.00				Se pierde la punta		

Punto	Prof. (m)	Pico (ppm)	Régi. (ppm)	Punto	Prof. (m)	Pico (ppm)	Régi. (ppm)
41	1.00	0	0	42	1.00	0	0
	2.00	0	0		2.00	0	0
43	1.00	0	0	44	1.00	0	0
	2.00	0	0		2.00	0	0
45	1.00	0	0	46	1.00	0	0
	Rechazo				Rechazo		
47	1.00	0	0	48	1.00	0	0
	2.00	0	0		Rechazo		
49	1.00	0	0				
	Rechazo						

Nota: "Rechazo" significa que no pudo continuarse la perforación por encontrarse una antigua loza de concreto o un nivel duro.

**Tabla 8: Resultado del monitoreo del nivel freático en 6 piezómetros durante 7 horas.**

PIEZOMETRO DÍA Y HORA	P1 (PL/NF en m)	P2 (NF en m)	P3 (NF en m)	S4 (NF en m)	S5 (NF en m)	S9 (NF en m)
12/12/97 10.15	8,35/9.24	8,47	6,14	7,14	6,57	5,05
12/12/97 13.15	8,53/8,61	8,48	6,14	7,145	6,57	5,04
Máxima Variación	0,01	0,025	0,005	0,005	0,000	0,01

**Resultado del monitoreo del nivel freático en 6 piezómetros de la Planta durante 3 semanas.**

PIEZOMETRO DÍA Y HORA	P1 (PL/NF en m)	P2 (NF en m)	P3 (NF en m)	S4 (NF en m)	S5 (NF en m)	S9 (NF en m)
24/11/97	8,37/9,29	8,48	No existía	7,25	No existía	5,01
26/11/97	n.m.	8,48	No existía	7,19	No existía	5,07

27/11/97	n.m.	8,51	6,38	7,22	No existía	5,07
03/12/97	8,38/9,22	8,46	6,17	7,19	No existía	5,04
05/12/97	8,35/9,24	8,46	6,16	7,19	6,59	5,03
11/12/97	8,36/9,23	8,46	6,14	7,13	6,57	5,04
12/12/97	8,35/9,24	8,47	6,14	7,14	6,57	5,05
<b>Máxima Variación</b>	0,08	0,05	0,03	0,12	0,02	0,08

**Nota:**

NF : Nivel Freático

PL : Nivel de Producto Libre

**TABLA 9: Resultados de los análisis de pH e Hidrocarburos Totales, Hidrocarburos Policíclicos Aromaticos, Hidrocarburos Aromaticos Volatiles, Hidrocarburos Aromaticos Semivolatiles, Policlorobifenilos, metales, Materia organica y Granulometria en suelos (en mg/Kg).**

<b>Muestra</b>	<b>PH</b>	<b>HCT</b>	<b>Valor C <sup>(1)</sup></b>
<b>P1-A</b>	8.8	109	5000 <sup>(2)</sup>
<b>P1-B</b>	n.a.	88.8	Idem
<b>P2-A</b>	n.a.	3353	Idem
<b>P2-D</b>	8.4	533	Idem
<b>P3-B</b>	9.0	889	Idem
<b>P3-C</b>	n.a.	1674	Idem
<b>S1-A</b>	n.a.	192	Idem
<b>S1-B</b>	8.0	94	Idem
<b>S2-A</b>	8.9	1180	Idem
<b>S2-B</b>	n.a.	188	Idem
<b>S3-A</b>	9.0	557	Idem
<b>S4-A</b>	8.2	<b>5114</b>	Idem
<b>S4-B</b>	n.a.	1942	Idem
<b>S5-B</b>	8.3	311	Idem
<b>S5-C</b>	n.a.	154	Idem
<b>S6-A</b>	8.2	1180	Idem
<b>S6-B</b>	n.a.	457	Idem
<b>S7-A</b>	7.4	2100	Idem
<b>S7-B</b>	n.a.	92	Idem
<b>S8-B</b>	n.a.	4470	Idem
<b>S8-D</b>	9.1	62	Idem
<b>S9-B</b>	8.3	92	Idem

Muestra	PH	HCT	Valor C <sup>(1)</sup>
S9-C	n.a.	237	Idem
C1	n.a.	3960	Idem
C2	3.4	3900	Idem
SOTANO	7.7	<b>31600 y 12200 <sup>(3)</sup></b>	Idem
CALLE	7.5	738	Idem

**Notas:**

1. El valor C se propone como valor de intervención (apartado 5.2.2)
2. Como valor C se ha tomado el valor para aceite mineral y grasa.
3. 5114 valor superior al Valor C peruano.

**Resultados de los Análisis de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos en suelos (en mg/kg).**

Muestra/ Compuesto	P1-A	S5-B	S9-B	CALLE	Valor "C"
Naftaleno	< 5	< 5	< 5	< 5	50
Acenaftileno	< 5	< 5	< 5	< 5	100
Acenafteno	< 5	< 5	< 5	< 5	100
Fluoreno	< 5	< 5	< 5	< 5	100
Fenantreno	< 5	< 5	< 5	< 5	50
Antraceno	< 5	< 5	< 5	< 5	100
Fluroanteno	< 5	< 5	< 5	< 5	100
Pireno	< 5	< 5	< 5	< 5	100
Benzo(a) Antraceno	< 5	< 5	< 5	< 5	10
Criseno	< 5	< 5	< 5	< 5	10
Benzo(b) Fluoranteno	< 5	< 5	< 5	< 5	10
Benzo(k) Fluoranteno	< 5	< 5	< 5	< 5	10
Benzo(a) Pireno	< 5	< 5	< 5	< 5	10
DiBenzo(a,h) Perileno	< 5	< 5	< 5	< 5	10
Benzo(g,h,i) Perileno	< 5	< 5	< 5	< 5	10
Indeno (1,2,3-cd) Pireno	< 5	< 5	< 5	< 5	10

**Resultados de los análisis de Hidrocarburos Aromáticos Volátiles en suelos (en mg/kg)**

Muestra/ Compuesto	P1-A	S5-B	S9-B	CALLE	Valor "C"
Benceno	< 5	< 5	< 5	< 5	5
Etilbenceno	< 5	< 5	< 5	< 5	50
Tolueno	< 5	< 5	< 5	< 5	30
Xilenos	< 5	< 5	< 5	< 5	50

**Resultados de los análisis de Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles en suelos (en mg/kg)**

Muestra/ Compuesto	P1-A	S5-B	S9-B	CALLE	Valor "C"
2-Clorofenol	< 1	< 1	<1	<1	5
2,4-Diclorofenol	< 1	< 1	<1	<1	5
2,4,5-Triclorofenol	< 1	< 1	<1	<1	5
2,4,6-Triclorofenol	< 1	< 1	<1	<1	5
Pentaclorofenol	< 1	< 1	<1	<1	5
Fenol	< 1	< 1	<1	<1	10
Hexaclorobenceno	<0.005	<0.005	<b>14</b>	<0.005	10
1,2-Diclorobenceno	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	10
1,3-Diclorobenceno	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	10
1,4-Diclorobenceno	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	10
1,2,4-Triclorobenceno	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	10
Diethylftalato	< 1	< 1	<1	<1	60 <sup>(2)</sup>
Dimetilftalato	<1	<1	<1	<1	idem
Di-n-butylftalato	<1	<1	<1	<1	idem
Bis (2-etilhexil)ftalato	<1	2.02	<1	<1	idem

**Notas :**

1. El valor C se propone como valor de intervención ( apartado 5.2.2 ).
2. 14 valor superior al Valor C peruano.

**Resultados de los análisis de Policlorobifenilos (PCBs) En suelos (en mg/kg)**

Muestra/ Compuesto	P1-A	S5-B	S9-B	CALLE	Valor "C"
PCBs	0.027	0.045	0.028	0.082	50

1. El valor C se propone como valor de intervención ( apartado 5.2.2 )

**Resultados de los análisis de Metales en suelos (en mg/kg)**

Muestra/ Compuesto	P2-A	S5-A	S8-A	S9-A	CALLE	Valor "C"
Cromo	85	15	17	14	24	800
Cobalto	35506	19	15	7	29	300
Niquel	21158	18	19	7	28	500
Cobre	4803	46	55	27	220	500
Zinc	67	128	95	128	3069	1500
Arsénico	56	31	32	6	184	50
Cadmio	N.D.	<0.7	<0.7	<0.7	22	20
Bario	95	222	147	89	315	2000
Plomo	30	54	36	46	1075	1000
Mercurio	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.06	10

**Notas :**

1. El valor C se propone como valor de intervención.

### Resultados de los análisis de Materia orgánica y Granulometría

<b>Muestra</b>	<b>Materia Orgánica (g/kg)</b>	<b>Arcillas (%)</b>	<b>Limos (%)</b>	<b>Arenas (%)</b>	<b>Partículas &gt;2mm (%)</b>
P2-A	52	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P2-C	n.a.	7.1	24.1	48.6	19.9
S4-B	30	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
S5-C	43	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
S5-D	n.a.	11.0	58.2	10.8	20.0
S6-C	n.a.	7.3	13.0	69.4	10.3
S7-B	12	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
S7-C	n.a.	1.8	2.5	93.9	1.8
S8-C	n.a.	47.2	33.6	13.1	6
C1	830	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

**Tabla 10 : Resultados de los análisis de pH, Conductividad e Hidrocarburos Totales, Hidrocarburos Policiclicos aromaticos, Hidrocarburos Aromaticos Volatiles, Hidrocarburos Aromaticos semivolatiles, Policlorobifenilicos, metales en aguas subterráneas (en mg/l).**

Muestra	PH	Cond. (mS/cm)	HCT	Valor de Intervención Holandés
P2	7.39	2.31	0.519	0.6
P3	6.78	0.24	<b>157</b>	Idem
P4	7.34	3.52	<b>3.30</b>	Idem
S1	6.96	1.51	<b>1.05</b>	Idem
S2	7.09	3.05	<b>60.8</b>	Idem
S3	7.24	3.15	<b>3.00</b>	Idem
S4	7.32	3.52	<b>61.12</b>	Idem
S5	7.40	2.03	<b>0.774</b>	Idem
S6	7.33	11.50	<b>1.46</b>	Idem
S7	7.30	4.22	<b>0.62</b>	Idem
S8	7.56	5.64	<b>1.64</b>	Idem
S9	7.44	2.11	<b>3.37</b>	Idem
Cl	n.m.	n.m.	<b>1.04</b>	Idem
PPP	7.22	0.93	0.474	Idem

**Resultados de los Análisis de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos en las aguas subterráneas (en mg/l)**

Muestra/ Compuesto	P4	S5	S8	PPP	Valor de Intervención Holandés
Naftaleno	<1	<1	<1	<1	<b>0.07</b>
Acenaftileno	<1	<1	<1	<1	n.e.
AcenaNafteno	<1	<1	<1	<1	n.e.
Fluoreno	<1	<1	<1	<1	n.e.
Fenantreno	<1	<1	<1	<1	<b>0.005</b>
Antraceno	<1	<1	<1	<1	<b>0.005</b>
Fluoranteno	<1	<1	<1	<1	<b>0.001</b>
Pireno	<1	<1	<1	<1	n.e.
Benzo (a) Antraceno	<1	<1	<1	<1	<b>0.00005</b>
Criseno	<1	<1	<1	<1	<b>0.00005</b>

<b>Benzo (b) Fluoranteno</b>	<1	<1	<1	<1	n.e.
<b>Benzo (k) Fluoranteno</b>	<1	<1	<1	<1	0.00005
<b>Benzo (a) Pireno</b>	<1	<1	<1	<1	0.00005
<b>Dibenzo (a,h) Antraceno</b>	<1	<1	<1	<1	n.e.
<b>Benzo (g,h,i) Perileno</b>	<1	<1	<1	<1	0.00005
<b>Indeno (g,h,i) Perileno</b>	<1	<1	<1	<1	0.00005

**Nota:**

n.e. -Nº Establecido

**Resultados de los análisis de Hidrocarburos Aromáticos Volátiles en las aguas subterráneas (en mg/f)**

<b>Muestra/ Compuesto</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>PPP</b>	<b>Valor de Intervención Holandés</b>
Benceno	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.03
Etileno	7.0	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.15
Tolueno	1.3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1
Xileno	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.07

**Nota :**

1.3. Valor superior al Valor de Intervención Holandés

**Resultado de los análisis de Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles en las aguas subterráneas (en mg/l)**

<b>Muestra / Compuesto</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>PPP</b>	<b>Valor de Intervención Holandés</b>
2-Clorofenol	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.1 <sup>(1)</sup>
2,4-Diclorofenol	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.03 <sup>(2)</sup>
2,4,5-Triclorofenol	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.01 <sup>(3)</sup>
2,4,6-Triclorofenol	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
Pentaclorofenol	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.003
Fenol	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	2
<b>Muestra /</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>PPP</b>	<b>Valor de</b>

Compuesto						Intervención Holandés
Hexaclorobenceno	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.0005
1,2-Diclorobenceno	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.05 <sup>(4)</sup>
1,3-Diclorobenceno	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
1,4-Diclorobenceno	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
1,2,4- Triclorobenceno	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.01 <sup>(5)</sup>
Dietilftalato	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.005 <sup>(6)</sup>
Dimetilftalato	<b>0.34</b>	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
Di-n-butilftalato	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	
Bis(2-etilhexil) ftalato	<b>1.87</b>	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	

**Notas:**

- (1) Se da el valor de la suma de los monoclorofenoles  
(2) Se da el valor de la suma de los diclorofenoles  
(3) Se da el valor de la suma de los triclorofenoles  
(4) Se da el valor de la suma de los diclorobencenos  
(5) Se da el valor de la suma de los triclorobencenos  
(6) Se da el valor de la suma de los ftalatos  
1.87 Valor superior al Valor de Intervención Holandés

**Resultados de los análisis de Policlorobifenilos en aguas subterráneas (en en mg/)**

Muestra/ Compuesto	P3	P4	S5	S6	PPP	Valor de Intervención Holandés
PCBs	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.00001

**Resultados de los análisis de metales en aguas subterráneas (en mg/l)**

Muestra/ Compuesto	P2	P3	S7	S8	PPP	Valor de Intervención Holandés
Cromo	<0.0004	<0.0004	<0.001	<0.0007	<0.0004	0.03
Cobalto	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.01
Níquel	0.012	0.036	0.006	0.019	<0.004	0.075
Cobre	0.01	0.006	<0.001	0.001	0.003	0.75
Zinc	0.028	0.066	0.024	0.023	0.011	0.8
Arsénico (µg/L)	<b>67</b>	42.30	2.51	5.97	9.98	60

						(µg/L)
Cadmio	0.0003	0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	0.006
Bario	0.295	0.381	<b>0.666</b>	0.376	0.306	0.625
Plomo	0.007	0.003	0.001	0.006	<0.0008	0.075
Mercurio (µg/L)	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	0.3 (µg/L)

**Nota:**

67 Valor superior al Valor de Intervención Holandés

**TABLA 11 RESULTADO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE EL PRODUCTO LIBRE.**

Nº Muestra	Densidad a 15°C (g/ml)	Viscosidad Cinemática a 40°C (cSt)
P1	0.792	<13
Curva de Destilación		
	Volumen Recogido (% v/v)	Temperatura (°C)
	Pto. Inicial	85
	5	125

Nº Muestra	Densidad a 15°C (g/ml)	Viscosidad Cinemática A 40°C (cSt)
	10	138
	20	151
	30	165
	40	175
	50	180
	60	185
	65	188
	70	193
	80	206
	85	219
	90	244
	95	295
	Pto. Final (98)	323

						(µg/L)
Cadmio	0.0003	0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	0.006
Bario	0.295	0.381	<b>0.666</b>	0.376	0.306	0.625
Plomo	0.007	0.003	0.001	0.006	<0.0008	0.075
Mercurio (µg/L)	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	0.3 (µg/L)

Nota:

67 Valor superior al Valor de Intervención Holandés

**TABLA 11 RESULTADO DE LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE EL PRODUCTO LIBRE.**

Nº Muestra	Densidad a 15°C (g/ml)	Viscosidad Cinemática a 40°C (cSt)
P1	0.792	<13
Curva de Destilación		
	Volumen Recogido (% v/v)	Temperatura (°C)
	Pto. Inicial	85
	5	125

Nº Muestra	Densidad a 15°C (g/ml)	Viscosidad Cinemática A 40°C (cSt)
	10	138
	20	151
	30	165
	40	175
	50	180
	60	185
	65	188
	70	193
	80	206
	85	219
	90	244
	95	295
	Pto. Final (98)	323

**TABLA 13 RESULTADOS ANALITICOS EN MUESTRAS DE FONDO (VALORES OBJETIVO)**

<b>MUESTRAS / PARAMETROS</b>	<b>CALLE mg/kg</b>	<b>CI mg/l</b>	<b>PPP mg/l</b>
TPH	738	1,040	0.474
<b>Compuestos Policíclicos Aromáticos (PAHs):</b>			
Acenafteno	< 5	n.a	< 1
Acenaftileno	< 5	n.a	< 1
Benzo (a) antraceno	< 5	n.a	< 1
Benzo (a) antraceno	< 5	n.a	< 1
Benzo (a) pireno	< 5	n.a	< 1
Benzo (b) fluoranteno	< 5	n.a	< 1
Benzo (ghi) perileno	< 5	n.a	< 1
Benzo (k) fluoranteno	< 5	n.a	< 1
Criseno	< 5	n.a	< 1
Dibenzo (ah) antraceno	< 5	n.a	< 1
<b>MUESTRAS / PARAMETROS</b>	<b>CALLE mg/kg</b>	<b>CI mg/l</b>	<b>PPP mg/l</b>
Fenantreno	< 5	n.a	< 1
Fluoreno	< 5	n.a	< 1
Indeno (123cd) pireno	< 5	n.a	< 1
Naftaleno	< 5	n.a	< 1
Pireno	< 5	n.a	< 1
<b>Hidrocarburos Aromáticos Volátiles (HAVs):</b>			
Benceno	< 5	n.a	< 0.5
Etilbenceno	< 5	n.a	< 0.5
Tolueno	< 5	n.a	< 0.5
Xilenos	< 5	n.a	< 0.5
<b>Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles (HASVs):</b>			
2-Clorofenol	< 1	n.a	< 0.2
2,4-Diclorofenol	< 1	n.a	< 0.2
2,4,5- Triclorofenol	< 1	n.a	< 0.2
2,4,6- Triclorofenol	< 1	n.a	< 0.2
Pentaclorofenol	< 1	n.a	< 0.2
Fenol	< 1	n.a	< 0.2
Hexaclorobenceno	< 0.005	n.a	< 0.001

1,2-Diclorobenceno	< 0.005	n.a	< 0.001
1,3-Diclorobenceno	< 0.005	n.a	< 0.001
1,4-Diclorobenceno	< 0.005	n.a	< 0.001
1,2,4-Triclorobenceno	< 0.005	n.a	< 0.001
Dietilftalato	< 1	n.a	< 0.2
Dimetilftalato	< 1	n.a	< 0.2
Di-n-butilftalato	< 1	n.a	< 0.2
Bis (2-hexyl) ftalato	< 1	n.a	< 0.2
Otros:			
PCBs	0.082	n.a.	< 0.001
Metales:			
Cromo	24	n.a.	0.05 <sup>(1)</sup>
Cobalto	29	n.a.	<0.002
Niquel	28	n.a.	<0.004
Cobre	220	n.a.	1 <sup>(1)</sup>
Zinc	3069	n.a.	5 <sup>(1)</sup>
<b>MUESTRAS / PARAMETROS</b>	<b>CALLE mg/kg</b>	<b>CI mg/l</b>	<b>PPP mg/l</b>
Arsénico (µg/L)	184	n.a.	9.98
Cadmio	22	n.a.	0.01 <sup>(1)</sup>
Bario	315	n.a.	0.306
Plomo	1075	n.a.	0.05 <sup>(1)</sup>
Mercurio (µg/L)	0.06	n.a.	< 0.7

**NOTAS:**

n.a. Significa "no analizado"

**TABLA 14: VALORES DE INTERVENCION PROPUESTOS**

<b>VALORES PARAMETROS</b>	<b>SUELO (mg/kg)</b>	<b>AGUA SUBTERRANEA (mg/L)</b>
Hidrocarburos totales	5000	0.6 <sup>(1)</sup>
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAHs)		
Acenafteno	100	0.005 <sup>(2)</sup>
Acenafteno	100	0.005 <sup>(2)</sup>
Acenaftileno	100	0.005

Antraceno	10	0.0005
Benzo (a) antraceno	10	0.00005
Benzo (a) pireno	10	0.00005
Benzo (b) fluoranteno	10	0.00005
Benzo (ghi) perileno	10	0.00005
Benzo (k) fluoranteno	10	0.00005
Criseno	10	0.00005
Dibenzo (ah) antraceno	10	0.00005 <sup>(2)</sup>
Fenantreno	50	0.005
Fluoranteno	100	0.001
Fluoreno	100	0.001 <sup>(2)</sup>
Indeno (123cd) pireno	10	0.00005
Naftaleno	50	0.07
Pireno	100	0.005 <sup>(2)</sup>
PAHs totales	200	--- <sup>(3)</sup>
<b>Hidrocarburos Aromáticos Volátiles</b>		
<b>VALORES PARAMETROS</b>	<b>SUELO (mg/kg)</b>	<b>AGUA SUBTERRANEA (mg/L)</b>
Benceno	5	0.03
Tolueno	30	1
Etilbenceno	50	0.15
Xilenos	50	0.07
<b>Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles (HASVs):</b>		
2-Clorofenol	5	0.1 <sup>(4)</sup>
2,4-Diclorofenol	5	0.03 <sup>(5)</sup>
2,4,5- Triclorofenol	5	0.01 <sup>(6)</sup>
2,4,6- Triclorofenol	5	n.e.
Pentaclorofenol	5	0.003
Clorofenoles total	10	n.e.
Fenol	10	2
Hexaclorobenceno	10	0.0005
1,2- Diclorobenceno	10	0.05 <sup>(7)</sup>
1,3- Diclorobenceno	10	0.05 <sup>(7)</sup>
1,4- Diclorobenceno	10	0.05 <sup>(7)</sup>
1,2,4- Triclorobenceno	10	0.01 <sup>(8)</sup>
Ftalatos (Total)	60 <sup>(9)</sup>	5 <sup>(9)</sup>

Otros:		
PCBs	50	0.00001
Metales:		
Cromo	800	0.03
Cobalto	300	0.1
Níquel	500	0.075
Cobre	500	0.075
Zinc	1500	0.8
Arsénico	50	60 (µg/L)
Cadmio	20	0.006
Bario	2000	0.625
Plomo	1000	0.075
Mercurio	10	0.3 (µg/L)

**Notas:**

- (1) Se toma el valor correspondiente a "aceite mineral"
- (2) Para los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs) marcados con esta referencia se ha aplicado el Valor de Intervención dado para otros compuestos análogos, en vista de la definición de un Valor de Intervención particular para ellos.
- (3) En el caso de los PAHs en agua subterránea se aplicará la fórmula  $\sum (\text{Concen. } i / \text{Vi}) \leq 1$ , donde Concen. i es la concentración de cada uno de los PAHs analizados y Vi es el Valor de Intervención de cada uno de estos PAHs. Si este sumatorio es mayor de uno, se habrá rebasado el Valor de Intervención y será necesario proceder a implementar medidas de saneamiento.
- (4) Se da el valor de la suma de los monoclorofenoles
- (5) Se da el valor de la suma de los diclorofenoles
- (6) Se da el valor de la suma de los triclorofenoles
- (7) Se da el valor de la suma de los diclorobencenos
- (8) Se da el valor de la suma de los triclorobencenos
- (9) Se da el valor de la suma de los ftalatos
- n.e. No establecido

**VALORES PROPUESTOS PARA EL SUELO (mg/kg de suelo seco)**

PARAMETROS	VALORES	OBJETIVO	SANEAMIENTO	INTERVENCION
Hidrocarburos Totales		738	5000	5000
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAHs):				
Acenafteno		< 5	100	100
Acenaftileno		< 5	100	100

Antraceno	< 5	100	100
Benzo (a) antraceno	< 5	10	10
Benzo (a) pireno	< 5	10	10
Benzo (b) fluoranteno	< 5	10	10
Benzo (ghi) perileno	< 5	10	10
Benzo (k) fluoranteno	< 5	10	10
Criseno	< 5	10	10
Dibenzo (ah) antraceno	< 5	10	10
Fenantreno	< 5	50	50
Fluoranteno	< 5	100	100
Fluoreno	< 5	100	100
Indeno (123cd) pireno	< 5	10	10
Naftaleno	< 5	50	50
Pireno	< 5	100	100
PAHs totales	< 5	200	200
<b>Compuestos Aromáticos Volátiles</b>			
<b>PARAMETROS</b>	<b>VALORES</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>SANEAMIENTO</b>
Benceno	< 5	5	5
Tolueno	< 5	30	30
Etilbenceno	< 5	50	50
Xilenos	< 5	50	50
<b>Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles:</b>			
2-Clorofenol	< 1	5	5
2,4-Diclorofenol	< 1	5	5
2,4,5- Triclorofenol	< 1	5	5
2,4,6- Triclorofenol	< 1	5	5
Pentaclorofenol	< 1	5	5
Fenol	< 1	10	10
Hexaclorobenceno	< 0.005	10	10
1,2- Diclorobenceno	< 0.005	10	10
1,3- Diclorobenceno	< 0.005	10	10
1,4- Diclorobenceno	< 0.005	10	10
1,2,4- Triclorobenceno	< 0.005	10	10
Dietilftalato	< 1	60 <sup>(1)</sup>	60 <sup>(1)</sup>
Dimetilftalato	< 1	idem	idem

Di-n-butilftalato	< 1	idem	idem
Bis (2 –etilhexil) ftalato	< 1	idem	idem
Otros:			
PCBs	0.082	50	50
Metales:			
Arsénico	184 <sup>(2)</sup>	184 <sup>(2)</sup>	184 <sup>(2)</sup>
Bario	315	2000	2000
Cadmio	22 <sup>(2)</sup>	22 <sup>(2)</sup>	22 <sup>(2)</sup>
Cobalto	29	300	300
Cobre	220	500	500
Cromo	24	800	800
Mercurio	0.06	10	10
Níquel	28	500	500
Plomo	1075 <sup>(2)</sup>	1075 <sup>(2)</sup>	1075 <sup>(2)</sup>
Zinc	3069 <sup>(2)</sup>	3069 <sup>(2)</sup>	3069 <sup>(2)</sup>

**Notas:**

<sup>(1)</sup> Se considera la suma de ftalatos de los Valores Holandeses.

<sup>(2)</sup> Para estos metales se han tomado los valores de fondo como valores de intervención y saneamiento.

**VALORES PROPUESTOS PARA EL AGUA (mg/L)**

PARAMETROS	VALORES	OBJETIVO	SANEAMIENTO	INTERVENCION
Hidrocarburos Totales		0.474	0.6 <sup>(1)</sup>	0.6 <sup>(1)</sup>
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAHs):				
Acenafteno		< 1	n.e.	n.e
Acenaftileno		< 1	n.e.	n.e
Antraceno		< 1	0.005	0.005
Benzo (a) antraceno		< 1	0.005	0.0005
Benzo (a) pireno		< 1	0.0005	0.00005
Benzo (b) fluoranteno		< 1	n.e.	n.e.
Benzo (ghi) perileno		< 1	0.00005	0.00005
Benzo (k) fluoranteno		< 1	0.00005	0.00005
Cirseno		< 1	0.00005	0.00005
Dibenzo (ah) antraceno		< 1	0.0005	0.0005
Fenantreno		< 1	0.005	0.001

Fluoranteno	< 1	0.001	n.e.
Fluoreno	< 1	n.e.	0.005
Indeno (123cd) pireno	< 1	0.05	0.07
Naftaleno	< 1	0.07	n.e.
Pireno	< 5	n.e.	
<b>Compuestos Aromáticos Volátiles:</b>			
Benceno	< 0.5	0.03	0.03
Tolueno	< 0.5	1	1
Etilbenceno	< 0.5	0.15	0.15
Xilenos	< 0.5	0.07	0.07
<b>Hidrocarburos Aromáticos Semivolátiles:</b>			
2- Clorofenol	< 0.2	0.1 <sup>(2)</sup>	0.1 <sup>(2)</sup>
2,4- Diclorofenol	< 0.2	0.03 <sup>(3)</sup>	0.03 <sup>(3)</sup>
2,4,5- Triclorofenol	< 0.2	0.01 <sup>(4)</sup>	0.01 <sup>(4)</sup>
2,4,6- Triclorofenol	< 0.2	0.01 <sup>(4)</sup>	0.01 <sup>(4)</sup>
:Pentaclorofenol	< 0.2	0.003	0.003
<b>VALORES</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>SANEAMIENTO</b>	<b>INTERVENCION</b>
<b>PARAMETROS</b>			
Fenol	< 0.2	2	2
Hexaclorobenceno	< 0.001	0.0005	0.0005
1,2- Diclorobenceno	< 0.001	0.05 <sup>(5)</sup>	0.05 <sup>(5)</sup>
1,3- Diclorobenceno	< 0.001	0.05 <sup>(5)</sup>	0.05 <sup>(5)</sup>
1,4- Diclorobenceno	< 0.001	0.05 <sup>(5)</sup>	0.05 <sup>(5)</sup>
1,2,4- Triclorobenceno	< 0.001	0.01 <sup>(6)</sup>	0.01 <sup>(6)</sup>
Dietilftalato	< 0.2	0.005 <sup>(7)</sup>	0.005 <sup>(7)</sup>
Dimetilftalato	< 0.2	0.005 <sup>(7)</sup>	0.005 <sup>(7)</sup>
Di-n-butilftalato	< 0.2	0.005 <sup>(7)</sup>	0.005 <sup>(7)</sup>
Bis (2-etilhexi) ftalato	< 0.2	0.005 <sup>(7)</sup>	0.005 <sup>(7)</sup>
<b>Otros:</b>			
PCBs	< 0.001	0.00001	0.00001
<b>Metales:</b>			
Arsénico (µg/L)	9.98	60	60
Bario	0.306	0.625	0.625
Cadmio	0.01	0.006	0.006
Cobalto	< 0.002	0.1	0.1
Cobre	1	0.075	0.075

Cromo	0.05	0.03	0.03
Mercurio (µg/L)	< 0.07	0.3	0.02
Níquel	< 0.004	0.075	0.075
Plomo	0.005	0.075	0.075
Zinc	5	0.8	0.8

**Notas:**

(1) Se toma el valor correspondiente a "aceite mineral y grasas".

(1) Se da el valor de la suma de los monoclороfenoles

(2) Se da el valor de la suma de los diclorofenoles

(3) Se da el valor de la suma de los triclorofenoles

(4) Se da el valor de la suma de los diclorobencenos

(5) Se da el valor de la suma de los triclorobencenos

(6) Se da el valor de la suma de los ftalatos

n.a. No establecido

**VALORES PROPUESTOS EN EL CASO DE LA PRESENCIA DE PRODUCTO LIBRE**

VALORES PARAMETROS	Objetivo	Saneamiento	Intervención
Producto libre (en flotación)	Ausente	Ausente	Presente

**TABLA N ° 15 : COTAS REALTIVAS TOMADAS EN SUPERFICIE**

Piézometro	Cota relativa (m)	Nivel Freático 12/12/97 (m) <sup>(1)</sup>	Cota Relativa del Nivel Freático 12/12/97 (m)
P1	99.68	8.65 <sup>(2)</sup>	91.03
P2	99.87	8.50	91.37
P3	98.19	6.25	91.94
P4	99.55	8.275	91.57
S1	100.00	8.98	91.02
S2	99.36	7.96	91.40
S3	99.20	7.49	91.71
S4	98.88	7.31	91.275
S5	98.11	6.47	91.64
S6	97.82	5.90	91.92
S7	97.90	6.14	91.76
S8	99.59	8.025	91.565
S9	96.96	4.97	91.99

Nota :

(1) Niveles freáticos medidos desde la superficie

(2) Nivel calculado con la fórmula Sección II.3.4

**ANEXO D:**

**LEYES AMBIENTALES**

## INDICE DE LA NORMATIVA QUE SE RESUME EN ESTE ANEXO

1. **Código del Medio Ambiental y los Recursos Naturales (Decreto Legislativo N°613, de 8 de Septiembre de 1,990)**
2. **Código Penal (Decreto Legislativo N°635, de 8 de Abril de 1,991)**
3. **Ley General de Aguas (Decreto Ley N°17752, de 24 de Julio de 1,969).**
- 3.1 Reglamento de los Títulos I, II Y III del D.L. N°17752 (Decreto Supremo N°261-69-AP, de 12 de diciembre de 1,969).
- 3.2 Reglamento del Título IV del D.L. N°17752 (Decreto Supremo N°274-69-AP/DGA, de 30 de diciembre de 1,969).
4. **Ley Orgánica de Hidrocarburos (Ley N°26221, de 13 de Agosto de 1,993).**
- 4.1. Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos (Decreto Supremo 046-93-EM, de 10 de Noviembre de 1,993).
- 4.2. Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos (Decreto Supremo 052-93-EM, de 16 de Noviembre de 1,993).
5. **Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada (Decreto Legislativo N°757, de 13 de Noviembre de 1,991).**
6. **Normas para Efecto de Formalizar denuncia por Infracción de la Legislación Ambiental (Ley N°26637, de 20 de Junio de 1,996).**

**1. Código del Medio Ambiental y los Recursos Naturales (Decreto Legislativo N°613, de 8 de Septiembre de 1,990).**

Art.1°.6.“Los costos de la prevención, vigilancia, recuperación y compensación del deterioro ambiental corren a cargo del causante del perjuicio”.

Art.14° “Es prohibida la descarga de sustancias contaminantes que provoquen degradación de los ecosistemas o alteren la calidad del ambiente, sin adoptarse las precauciones par su depuración”.

Art.15° “Queda prohibido verter o emitir residuos sólidos, líquidos o gaseosos u otras formas de materia o energía que alteren las aguas en proporción capaz de hacer peligrosa su utilización”.

Art.28° “Las empresas públicas o privadas y en general toda persona que por el desarrollo de su actividad cause o pueda causar deterioro al medio ambiente, están obligadas a incorporar adelantos científicos y tecnológicos para reducir y eliminar el efecto contaminante o desestabilizador del mismo”.

Art.35° “Cualquier persona podrá poner en conocimiento de la autoridad competente los hechos que hicieran procedente la adopción de las medidas necesarias para la protección del ambiente”.

Art.73° “Los aprovechamientos energéticos, su infraestructura, así como el transporte, transformación, almacenamiento y utilización final de la energía, deben ser realizados sin ocasionar contaminación del suelo, agua o aire.

Deben emplearse las mejores tecnologías para impedir que los daños ambientales sean irreparables”.

Art.112° “Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos, la flora o la fauna. Las obras deber ser previamente aprobadas”.

**2. Código Penal (Decreto Legislativo N°635, de 8 de abril de 1,991)**

Art.304° “El que, infringiendo las normas sobre protección del medio ambiente, lo contamina vertiendo residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra

naturaleza por encima de los límites establecidos, y que causen o puedan causar perjuicio o alteraciones en la flora, fauna y recursos hidrológicos, será suprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de tres años o con ciento ochenta a trescientos sesenticinco días - multa.

Si el actuó por culpa, la pena será privativa de libertad no mayor de un año o prestación de servicios comunitarios de diez a treinta jornadas”.

Art.305° “la pena será privativa en el artículo 304 ocasionados de dos ni mayor de cuatro años y con trescientos sesenticinco a setecientos treinta días - multa cuando:

1. Los actos previstos en el artículo 304 ocasionen peligro para la salud de las personas o para sus bienes.
2. El perjuicio o alteración ocasionados adquieren un carácter catastrófico.
3. El agente actuó clandestinamente en el ejercicio de su actividad.
4. Los actos contaminantes afectan gravemente los recursos naturales que constituyen la base de la actividad económica.

Si, como efecto de la actividad contaminante, se producen lesiones graves o muerte, la pena será:

- a) Privativa de libertad no menor de tres ni mayor de seis años y de trescientos sesenticinco o setecientos treinta días - multa, en caso de lesiones graves.
- b) Privativa de libertad no menor de cuatro ni mayor de ocho años y de setecientos treinta mil cuatrocientos sesenta días - multa, en caso de muerte.

Art.307°“El que deposita, comercializa o vierte desechos industriales o domésticos en lugares no autorizados o sin cumplir con las normas sanitarias y de protección del medio ambiente, será reprimido con pena privativa de libertad no mayor de dos años”.

### **3. Ley General de Aguas (Decreto Ley N°17752, de 24 de Julio 1,969).**

Art.22° “Está prohibido verter o emitir cualquier residuo sólido, líquido o gaseoso que pueda contaminar las aguas causando daños o poniendo en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna o comprometiendo su empleo para otros usos. Podrán descargarse únicamente cuando:

- a) Sean sometidos a los necesarios tratamientos previos;
- b) Se compruebe que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación;
- c) Se compruebe que con un lanzamiento submarino no se causará perjuicios a otro uso;
- d) En otros casos que autorice el Reglamento”.

3.1 Reglamento de los Títulos I, II y III del D.L. N°17752 (Decreto Supremo N°261-69-AP, de 12 de Diciembre de 1,969).

Art.61° “Todo vertimiento de residuos a las aguas marítimas o terrestres del país deberá efectuarse previo tratamiento, lanzamiento submarino o alojamiento adecuado, de acuerdo a lo dispuesto por la Autoridad Sanitaria y contando previamente con la licencia respectiva”.

Art.81° “Para los efectos de la aplicación del presente Reglamento, la calidad de los cuerpos de agua en general, ya sea terrestre o marítima, del país, se clasificarán respecto a sus usos de la siguiente manera:  
 (...)
   
VI Aguas de Zonas de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial”.

Art.82° “Para los efectos de protección de las aguas, correspondientes a los diferentes usos, regirán los siguientes valores límites (se resumen los correspondientes a la Clase VI).

Coliformes totales	20000 N.M.P./100Mil
Coliformes fecales	40000 N.M.P./100Mil
Demanda biológica de oxígeno	10 mg O <sub>2</sub> /l
Oxígeno disuelto	4 mg O <sub>2</sub> /l
Selenio	10 mg/m <sup>3</sup>
Mercurio	0,2 mg/m <sup>3</sup>
PCB	2 mg/m <sup>3</sup>
Esteres estalados	0,3 mg/m <sup>3</sup>
Cadmio	4 mg/m <sup>3</sup>
Cromo	50 mg/m <sup>3</sup>

Níquel	**
Cobre	*
Plomo	30 mg/m <sup>3</sup>
Zinc	**
Cianuros (CN)	5 mg/m <sup>3</sup>
Fenoles	100 mg/m <sup>3</sup>
Sulfuros	2 mg/m <sup>3</sup>
Arsénico	50 mg/m <sup>3</sup>
Pesticidas	***

**Notas:**

- \* Pruebas de 96 horas LC50 multiplicadas por 0,1
- \*\* Pruebas de 96 horas LC50 multiplicadas por 0,2
- \*\*\* Se aplican los criterios de calidad de aguas establecidas por la Environmental Protección Agency de los Estados Unidos de Norteamérica.

Art.143° “Los desagües y efluentes provenientes de la industria, deberán ser evacuados preferentemente en redes o canales especialmente en las redes y alcantarillados de las poblaciones, solamente previo los tratamientos requeridos para evitar el deterioro de dichas redes. En todos los casos no podrán contaminar ni polucionar las aguas superficiales o subterráneas ni las capas acuíferas, así como los terrenos de cultivo y los potencialmente cultivables”.

**3.2 Reglamento del Título IV del D.L. N° 17752 (Decreto Supremo N°274-69-AP/DGA, de 30 de diciembre de 1,969).**

Art.9° “Para verter cualquier residuo sólido, líquido o gaseoso que contenga que puedan polucionar o contaminar los suelos o las aguas, deberá contarse con previa autorización de la dirección General de Aguas, Suelo e Irrigaciones a fin de preservar las aguas subterráneas en explotación o las potencialmente utilizadas”.

Art.12° “Queda prohibida la construcción y el uso de fosas sépticas que permitan filtraciones que contaminen o polucionen las aguas subterráneas.

#### **4. Ley Orgánica de Hidrocarburos (Ley N°26221, de 13 de agosto de 1,993).**

Art.3° “El Ministerio de Energía y Minas es el encargado de elaborar, aprobar, proponer y aplicar la política del Sector, así como de velar por el cumplimiento de la presente Ley y dictar las normas pertinentes”.

Art.5° “La Dirección General de Hidrocarburos es el órgano del Ministerio de Energía y Minas encargado de fiscalizar los aspectos técnicos de las actividades de Hidrocarburos en el territorio nacional”.

Art.87° “Las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, que desarrollen actividades de Hidrocarburos deberán cumplir con las disposiciones sobre protección del Medio Ambiente. En caso de incumplimiento de las citadas disposiciones, el Ministerio de Energía y Minas dictará las sanciones pertinentes y podrá llegar hasta la terminación del contrato respectivo”.

#### **4.1 Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos (Decreto Supremo 046-93-EM, de 10 de Noviembre de 1,993).**

Art. 21°. “Los desechos y desperdicios en cualquiera de las actividades serán manejados de la siguientes manera:

- a) Los desechos orgánicos serán procesados utilizados rellenos sanitarios, incineradores, biogradación u otros métodos ambientales aceptados.
- b) Los desechos sólidos inorgánicos deberán ser reciclados o trasladados y enterrados en un relleno sanitario.
- c) Los desechos líquidos y aguas residuales deberán ser tratadas antes de su descarga a acuífero o aguas superficiales para cumplir con los límites de calidad de la Ley General de Aguas. Entre los métodos a utilizar, a criterio del diseñador, están el tratamiento primario de separación por gravedad, flotación, floculación, biodegradación, sedimentación, neutralización, etc.
- d) Se prohíbe descargar en los ríos, lagos, lagunas, mar, o cualquier otro cuerpo de agua, basura industriales o domésticas”.

Art.24° “Para el manejo de almacenamiento de hidrocarburos el operador cumplirá con los siguientes requisitos.

- a) No se almacenará petróleo en pozas abiertas, excepto en los casos de contingencia.
- b) Cada tanque o grupo de tanques deberá estar rodeado por un dique debidamente impermeabilizado que almacene un volumen por lo menos igual al 110% del tanque de mayor volumen.
- c) En casos en que sea físicamente imposible rodear el tanque con la zona de contención, se debe construir un sistema de encuzamiento hacia pozas de recolección con capacidad no menor al 110% del tanque de mayor volumen”.(...)
- d) Las instalaciones o equipos tales como: ductos, tanques, unidades de proceso, instrumentos, etc. deberán ser sometidos a programas riesgos de accidentes, incendios y derrames”.

Art.25° “Las instalaciones deberán contar con un control y registro de sus emisiones de acuerdo a lo siguiente:

- a) Cuantificación del caudal de las emisiones en metros cúbicos por segundo para los líquidos y gases, y en toneladas métricas por mes para los sólidos y fangos.
- b) Determinación de los contaminantes indicados en las tablas 3 y 4”. (Para la revisión de estas tablas se remite al Apéndice del presente Decreto Supremo).

Art.45° “Los siguientes lineamientos básicos deberán ser implementados para todas las instalaciones:

- a) Todas las áreas de proceso, excepto el área de tanques y los corredores de tuberías, deberán estar sobre una losa de concreto y contar con un sistema para coleccionar fugas, drenajes de bombas, drenajes de puntos de muestreo, drenajes de tanques y otros.
- b) Las refinerías con terminales marítimos deberán contar con sistemas de recepción y tratamiento de agua de lastre, de conformidad con lo estipulado en el convenio MARPOL 73/78”.

Art.48° “En caso de incumplimiento de las disposiciones del presente Reglamento, el responsable será sancionado administrativamente, de acuerdo a los siguiente:

a) Por incumplimiento de las normas establecidas, con multa de 1 a 1000 unidades Impositivas Tributarias (UIT). Adicionalmente, según sea el caso, de acuerdo a lo siguiente:

- Prohibición o restricción de la actividad causante de la infracción.
- Obligación de compensar a los afectados.
- Restauración inmediata del área”.

#### **4.2 Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos (Decreto Supremo 052-93-em. De 16 de Noviembre de 1,993)**

Art.39° “En las instalaciones de almacenamiento de hidrocarburos deberán tomarse especiales precauciones para prever que derrames accidentales de líquidos clase I, II ó III A, pueden poner en peligro edificaciones, servicios, propiedades vecinas o cursos de agua”.

Art.60° “Cuando se procede al llenado de los tanques, se debe tomar especiales medidas de precaución para no derramar los líquidos”.

Art.68° “Todo derrame deberá ser recolectado y removido del lugar”.

Art.115° “Las instalaciones para Almacenamiento de Hidrocarburos, deberán cumplir con las reglamentarias de control ambiental emitidas por el Organismo Competente del Ministerio de Energía y Minas.

Art.117° “Las instalaciones deberán contar con sistemas de tratamiento que garanticen la calidad límite de sus efluentes”.

#### **5. Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada (Decreto Legislativo N°757, de 13 de Noviembre de 1,991)**

Art.52° “En caso de peligro grave e inminente para el medio ambiente, la autoridad sectorial competente podrá disponer la adopción de una de las siguientes medidas de seguridad por parte del titular de la actividad.

- a) Procedimiento que hagan desaparecer el riesgo o lo disminuya a niveles permisibles, establecidos para el efecto los plazos adecuados en función a su gravedad e inminencia.
- b) Medidas que limiten el desarrollo de las actividades que generen peligro grave e inminente para el medio ambiente.

En caso de que el desarrollo de la actividad fuera capaz de causar un daño irreversible con peligro para el medio ambiente, la vida o la salud de la población, la autoridad sectorial competente podrá suspender los permisos, licencias o autorizaciones que hubiera otorgado al efecto”

#### **Novena Disposición Complementaria**

“Toda mención hecha en el Decreto Legislativo N°613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, a “autoridades”, “autoridades competente” o “autoridad ambiental” se entenderá referida a la autoridad sectorial competente, es decir, al Ministerio del Sector correspondiente a la actividad que se desarrolla.

Asimismo, toda prohibición hecha en dicha norma legal de contaminar el medio ambiente, se entenderá referida a la que exceda los niveles tolerables de contaminación establecidos para cada efluente por la autoridad sectorial competente, tomando en consideración la degradación acumulativa”.

#### **6. Normas para Efecto de Formalizar denuncia por Infracción de la Legislación Ambiental (Ley N°26631, de junio de 1,996)**

Art.2° “En los casos en que el inversionista dueño o titular de una actividad productiva contare con programas específicos de adecuación y manejo ambiental - PAMA-, esté poniendo en marcha dichos programas o ejecutándolos, o cuente con estudio de impacto ambiental, sólo se podrá dar inicio a la acción penal por los delitos tipificados en el Título XIII del Libro Segundo del Código Penal si se hubiere infringido la legislación ambiental por no ejecución de las pautas contenidas en dichos programas o estudios según corresponda.

Anexo E:

Registros de los sondeos

Lugar: Planta Petrolube-Callao	Nº Proyecto: P-6850
Ubicación: ver Figura	Sondeo: S-1 Hoja: 1 de 1
Técnica de perforación y diámetro del sondeo: Rotación con recuperación continua de testigo. Diámetro: 116 mm	Sondistas: Geotecnia

Supervisor: F. García      Fecha/hora: Comienzo: 5-11-97/8:00      Fin: 7-11-97/17:00

Construcción Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
		1,00							Asfalto	
		2,00							Material de Relleno (cascajo)	
		3,00							Arena gruesa grisacea sin olor a HC	
		3,40							Arcilla con cantos rodados	
		3,66							Limos arenosos sin olor	
		4,00		0	4,00	⊗	S1/A	20,9/0		
		4,30								
		5,00							Arcillas limosas con aspecto limpio	
		5,80								
		6,00		0	6,30	⊗	S1/B	20,9/0		
		7,00								
		7,90								
		8,00							Gravas en matriz arenosa	
		9,00	9,03							
		10,00								
		10,53								
		11,00								
		12,00								

Leyenda:

	Cemento		Muestra alterada
	Bentonita		Tubo PVC Ciego
	Gravilla		Tubo PVC Filtro
			Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:  
(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof. (m)
7-11-97	17:00	-9,03

Lugar: Planta Petrolube-Callao

Nº Proyecto: P-6850

Ubicación: ver Figura

Sondeo: S-2

Hoja: 1 de 1

Técnica de perforación y diámetro del sondeo:

Rotación con recuperación continua de testigo:

Diámetro: 116 mm

Sondistas:

Geotecnia

Fecha/hora: Comienzo: 8-11-97/12:00 Fin: 10-11-97/15:00

Construcción Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
		1,00							Asfalto	
									Material de relleno	
		2,00							Arenas con guijarros	
		3,00		0			20,9/0		Arcillas color marron. Aspecto limpio	
		3,40		9			20,9/0		Arcillas color gris. Aspecto limpio	
		3,65							Arcillas grises ligero olor a hidrocarburos	
		4,00			4,35	⊗	S2/A		Arcillas color gris. Aspecto limpio	
		4,05							Arcillas color gris. Aspecto limpio	
		4,30					20,9/0		Arcillas color gris. Aspecto limpio	
		5,00		11					Arenas grises. Aspecto limpio	
		5,70		0					Arenas grises. Aspecto limpio	
		6,00							Arcillas color marrón sin olor hidrocarburos	
		6,36							Arcillas color marrón sin olor hidrocarburos	
		7,00			7,30	⊗	S2/B		Arcillas color marrón sin olor hidrocarburos	
		7,50	7,97						Arcillas color marrón sin olor hidrocarburos	
		8,00		0					Arcillas color marrón sin olor hidrocarburos	
		9,00							Arcillas color marrón sin olor hidrocarburos	
		10,00		3,8					Gravas en matriz arenosa	
		11,00							Ligero olor a hidrocarburos	
		11,50							Ligero olor a hidrocarburos	
		12,00							Ligero olor a hidrocarburos	

Leyenda: Nivel freático Nivel producto libre

Cemento

Muestra alterada

Bentonita

Tubo PVC Ciego

Muestra de agua.

Gravilla

Tubo PVC Filtro

Cota relativa del piezómetro:

(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Fecha	Nivel Freático	
	Hora	Prof. (m)
10-11-97	15:00	-7,97

Lugar: Planta Petrolube-Callao

Nº Proyecto: P-6850

Ubicación: ver Figura

Sondeo: S-3

Hoja: 1 de 1

Técnica de perforación y diámetro del sondeo:

Rotación con recuperación continua de testigo.

Diámetro: 116 mm

Sondistas:

Geotecnia

Fecha/hora: Comienzo: 15-11-97/9:00 Fin:17-11-97/16:00

Construcción Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
		0.35							Asfalto	
		1.33		22					Material de relleno	
		2.00							Arenas limosas aspecto limpio	
		2.80			2.80	S3/A			limos arcillosos grises con materia orgánica	
		3.00		20					Arcillas color gris ligero olor hidrocarburos	
		4.00							Arcillas-color rojizo. Aspecto limpio	
		4.55							ligero olor a hidrocarburos	
		5.00		0						
		5.26								
		5.50								
		6.00		0			21.2/0		Arenas limosas grises con ligero olor a hidrocarburos	
		6.52	7.35						arenas limosas sin olor. Aspecto limpio	
		7.00		0		S2/B			A 7.00 m olor a gasolina	
		8.00					21.2/0		Arcillas con guijarros sin olor a hidrocarburos	
		9.00		0			21.2/0			
		10.00							Gravas en matriz arenosa	
		11.00								
		11.27								
		12.00								
		12.50								

Legenda:  Nivel freático  Nivel producto libre

-  Cemento
-  Bentonita
-  Gravilla
-  Muestra alterada
-  Tubo PVC Ciego
-  Tubo PVC Filtro
-  Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:

(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Cota relativa del piezómetro:		
Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof. (m)
17-11-97	16:00	-7.35

Lugar: Planta Petrolube-Callao N° Proyecto: P-6850  
 Ubicación: ver Figura Sondeo: S-4  
 Hoja: 1 de 1  
 Técnica de perforación y diámetro del sondeo:  
 Rotación con recuperación continua de testigo.  
 Diámetro: 116 mm Sondistas:  
 Geotecnia:  
 Fecha/hora: Comienzo: 19-11-97/15:00 Fin: 20-11-97/21:00

Construcción Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
		0,05							Asfalto	
		1,00		20				20,9/0	Relleno de cascajo y fábrica	
		2,00		30				20,9/0	Limos color negro	
		2,20			1,60	⊗	P4/A			
		3,00		50				20,9/0	Arcilla sin olor	
		3,20			3,40	⊗	P4/B			
		4,00		4					Limos colos gris con ligero olor a hidrocarburos	
		4,20							Arenas grises finas aspecto limpio	
		4,80							Arenas negras con quijarros	
		5,00							Gravas en matriz arenosa	
		6,00								
		7,00	7,14							
		8,00								
		9,00								
		9,50								
		10,00								
		11,00								
		12,00								

Legenda: ▽ Nivel freático ▽ Nivel producto libre  
 [Cemento] Cemento [Muestra alterada] Muestra alterada  
 [Bentonita] Bentonita [Tubo PVC Ciego] Tubo PVC Ciego  
 [Gravilla] Gravilla [Tubo PVC Filtro] Tubo PVC Filtro [Muestra de agua.] Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:  
 (medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof. (m)
20-11-97	21:00	-7,14

Lugar: Planta Petrolube-Callao		Nº Proyecto: P-6850
Ubicación: ver Figura		Sondeo: S-5 Hoja: 1 de 1
Técnica de perforación y diámetro del sondeo: Rotación con recuperación continua de testigo. Diámetro: 116 mm		Sondistas: Geotecnia

Supervisor: F. Garcia      Fecha/hora: Comienzo: 1-12-97/17:00      Fin: 2-12-97/14:00

Construcción Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
				0	0.60	⊗	S5/A			Concreto hasta 20 cm. Material de relleno
		-1.00								arcilla con guijarros sin olor hidrocarburo
		-2.00		20	1.90	⊗	S5/B	20,9/0		arcillas mezclados con arenas. La aparición de las arenas coincide con un ligero olor a hidrocarburo
		-3.00		0						
		-4.00		5						aparición de guijarros entre las arcillas hasta 4,20
		-5.00 -5.40			5.50	⊗	S5/C			
		-6.00	6,65	0	6.30	⊗	S5/D	20,9/0		arcillas y limos en alternancia. Aspecto limpio sin olor a hidrocarburos
		-7.00								
		-8.00								
		-9.00		0				20,9/0		
		-9.70								Gravas en matriz arenosa
		-10.00								
		-10.40								
		-11.00								
		-12.00								

Leyenda:

Nivel freático	Nivel producto libre
Cemento	Muestra alterada
Bentonita	Tubo PVC Ciego
Gravilla	Tubo PVC Filtro
	Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:  
(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof. (m)
2-12-97	14:00	-6.65

Lugar: Planta Petrolube-Callao

Nº Proyecto: P-6850

Ubicación: ver Figura

Sondeo: S-6

Ho : 1 de 1

Técnica de perforación y diámetro del sondeo:  
Rotación con recuperación continua de testigo.  
Diámetro: 116 mm

Sondistas:

Geotecnia

Fecha/hora: Comienzo: 24-11-97/11:15 Fin: 25-11-97/9:30

Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	RID (ppm)	Muestras		O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Ti o No.			
		1,00							asfalto hasta 5 cm
		2,00							Material de relleno (cascajo) hasta 2.30 m.
		3,00		0			21,2/0		limos arenosos con olor a seneamiento
		4,00		0					hsdts 3,00 m.
		5,00		0			20,9/0		limos arenosos color gris claro con guijarros: aspecto limpio
		5,94	5,94	0	4,65	S6/A			a partir de 3,90 se encuentran más gravas y limo orgánico con guijarros
		6,00		0	5,20 5,80	S6/C S6/B	21,2/0		
		7,00							Gravas en matriz arenosa
		7,90							
		8,00							
		8,50							
		9,00							
		10,00							
		-10,40							
		11,00							
		12,00							

- leyenda:
- Nivel freático
  - Nivel producto libre
  - Cemento
  - Muestra alterada
  - Bentonita
  - Tubo PVC Ciego
  - Gravilla
  - Tubo PVC Filtro
  - Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:  
(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

25-11-97 9:30 -5,94

Lugar: Planta Petrolube-Callao

Nº Proyecto: P-6850

Ubicación: ver Figura

Sondeo: S-7  
Hoj a: 1 de 1

Técnica de perforación y diámetro del sondeo:  
Rotación con recuperación continua de testigo.  
Diámetro: 116 mm

Sondistas:  
Geotecnia

Supervisor: F. García

Fecha/hora: Comienzo: 18-11-97/8:00 Fin: 19-11-97/11:00

Construcción Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
		0.00		0				21,20		asfalto hasta 6 cm Material de relleno (cascajo) hasta 1,20 m.
		2.00		6	2.10	⊗ S7/A		21,20		limos grises con quitrinos olor saneamiento arenas grisáceas olor lodo séptico limos orgánicos color negro
		3.00 3.10 3.65 4.00 4.12		15	3.80	⊗ S7/B		21,20		arenas finas limosas color gris claro; aspecto limpio
		5.00		0	4.70	⊗ S7/C				arenas gruesas color gris verdoso; aspecto limpio
		6.00 7.00 8.00 8.50 9.00 10.00 11.00 12.00	6.25							gravas en matriz arenosa

Leyenda:  Nivel freático  Nivel producto libre

 Cemento  Muestra alterada  
 Bentonita  Tubo PVC Ciego  
 Gravilla  Tubo PVC Filtro  Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:  
(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Fecha	Nivel Freático	
	Hora	Prof. (m)
19-11-97	11:00	-6.25

Lugar: Planta Petrolube-Callao

Nº Proyecto: P-6850

Ubicación: ver Figura

Sondeo: S-8  
Hoja: 1-de 1

Técnica de perforación y diámetro del sondeo:  
Rotación con recuperación continua de testigo.  
Diámetro: 116 mm

Sondistas:  
Geotecnia

Fecha/hora: Comienzo: 29-11-97/14:00 Fin: 1-12-97/13:30

Construcción Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
		0.00		0					concreto hasta 15 cm , Material de relleno (cascajo) hasta 1,30 m.	
		2.00		0	1.80	⊗	S8/A	20.9/0		limos con mucho cascajo; aspecto limpio
		3.00		0	2.90	⊗	S8/C			limos sin cascajo; aspecto limpio
		3.6			3.40	⊗	S8/B	20.9/0		arcillas color marrón claro; aspecto limpio
		5.00						20.9/0		
		6.00		0						limo arenoso marrón claro; aspecto limpio
		7.00			6.60	⊗	S8/D			
		7.93	▽	0						
		8.00								gravas en matriz arenosa
		9.00								
		9.70								
		10.00								
		11.00								
		12.00								

- Leyenda: ▽ Nivel freático    ▽ Nivel producto libre
-  Cemento
  -  Bentonita
  -  Gravilla
  -  Muestra alterada
  -  Tubo PVC Ciego
  -  Tubo PVC Filtro
  -  Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:  
(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof. (m)
1-12-97	13:30	-7.93

Lugar: Planta Petrolube-Callao

Nº Proyecto: P-6850

Ubicación: ver Figura

Sondeo: S-9  
Hoja: 1 de 1

Técnica de perforación y diámetro del sondeo:  
Rotación con recuperación continua de testigo.  
Diámetro: 116 mm

Sondistas:  
Geotecnia

Supervisor: F. García

Fecha/hora: Comienzo: 21-11-97/13:00 Fin: 22-11-97/13:30

Construcción Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
		0,35						21,20		arenas limosas color gris oscuro
		1,00		0						materia de relleno (cascajo) con arenas negras
		2,00						21,20 21,20		arenas grises limosas; sin olor hidrocarburos
		3,00		0	2,80	⊗	S9/A			
		3,10								
		3,65								
		4,00			4,00	⊗	S9/B			
		4,12								
		5,00	5,07	0	5,00	⊗	S9/C			
		6,00		0						
		6,50								gravas en matriz arenosa
		7,00		0						
		7,05								
		8,00								
		8,80								
		9,70								
		10,00								
		11,00								
		12,00								

Leyenda: ▽ Nivel freático    ▽ Nivel producto libre

-  Cemento
-  Bentonita
-  Gravilla
-  Muestra alterada
-  Tubo PVC Ciego
-  Tubo PVC Filtro
-  Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:  
(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof (m)
22-11-97	13:30	-5.07

Lugar: Planta Petrolube-Callao

Nº Proyecto: P-6850

Ubicación: ver Figura

Sondeo: P-1  
Hoja: 1 de 1

Técnica de perforación y diámetro del sondeo:  
Rotación con recuperación continua de testigo.  
Diámetro: 116 mm

Sondistas:  
Geotecnia

Supervisor: F. García

Fecha/hora: Comienzo: 11-11-97/8:00 Fin: 12-11-97/12:00

Construcción -Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
		1,00							Asfalto 10 cm	
		2,00							Relleno de cascajo	
		3,00							Limos arenosos marrones con ligero olor	
		4,00		0				20,9/0		
		5,00		0	4,60	×	P1/A	20,9/0	Arcillas grisáceas con olor a hidrocarburos (muy ligero)	
		6,00		0	5,70	×	P1/B			
		7,00		0				20,9/0		
		8,00	8,37						Limos marrones con aspecto limpio	
		9,00							Gravas con matriz arenosa. Sin olor 4 cm. producto libre	
		10,00								
		11,00								
		11,40								
		12,00								

Legenda:  Nivel freático  Nivel producto libre

-  Cemento
-  Bentonita
-  Gravilla
-  Muestra alterada
-  Tubo PVC Ciego
-  Tubo PVC Filtro
-  Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:  
(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof. (m)
12-11-97	12:00	-8,37

Lugar: Planta Petrolube-Callao	Nº Proyecto: P-6850
Ubicación: ver Figura	Sondeo: P-2 Hoja: 1 de 1
Técnica de perforación y diámetro del sondeo: Rotación con recuperación continua de lodo. Diámetro: 116 mm	Sondistas: Geotecnia
Fecha/hora: Comienzo: 12-11-97/17:00 Fin: 14-11-97/15:00	

Constitución Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Ni Frático	PID (ppm)	Muestras			O2/CO2 (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:
					Prof.	Tipo	No.			
		0,75							Asfalto 6 cm.	
		1,00							Relleno	
		1,20		0	1,00	⊗	P2/A	20,9/0	Arcillas marrones con guijarros, inclusiones de materia orgánica	
		1,65								
		2,00			2,00	⊗	P2/B		Arenas limosas de color marron verdoso con olor a hidrocarburos	
		2,40		0						
		3,00		160				20,9/0	Limo arcilloso de color gris con olor a hidrocarburos	
		3,00		0				20,9/0		
		4,00								
		4,30			4,30	⊗	P2/C			
		4,60			4,60	⊗	P2/D			
		5,00		0					Arcillas marrones con ligero olor a hidrocarburos	
		5,50		0						
		6,00		0					Limos arenosos sin olor	
		7,00								
		7,20							arcillas color marron con ligero olor a hidrocarburos	
		8,00	8,44						Arcillas color marrón. Aspecto limpio A 8,00 m ligero olor a HC volátiles	
		8,50								
		9,00							Arena limosa color blanco. Aparición de guijarros	
		10,00								
		11,00							Gravas en matriz arenosa	
		11,40								
		12,00								

Leyenda: Nivel freático Nivel producto libre  
 Cemento Muestra alterada  
 Bentonita Tubo PVC Circo  
 Gravilla Tubo PVC Filtro Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro: (medida desde el borde superior del tubo piezométrico)		
Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof. (m)
14-11-97	15:00	-8,44

Lugar: Planta Petrolube-Callao	Nº Proyecto: P-6850
Ubicación: ver Figura	Sondeo: P-3 Hoja: 1 de 1
Técnica de perforación y diámetro del sondeo: Rotación con recuperación continua de testigo. Diámetro: 116 mm	Sondistas: Geotecnia
Fecha/hora: Comienzo: 25-11-97/13:00 Fin: 26-11-97/15:00	

Construcción Piezómetro	Litología	Profundidad (m)	Nivel Freático	PID (ppm)	Muestras			O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> (%)	Suelo o agua aparentemente contaminados	Descripción:	
					Prof.	Tipo	No.				
		0,10								Losa de hormigón 10 cm. Relleno de cascajo	
		1,00									
		1,40									
		1,80		0		1,80	⊗	P3/A			Arenas gruesas marrones con aspecto limpio
		2,00							20,9/0		Limos arcillosos de color negro sin olor a HC
		2,20									
		2,40									
		3,00				3,20	⊗	P3/B			Limos color gris sin olor a hidrocarburos Limos arenosos color gris claro con aspecto limpio, no se aprecia olor a hidrocarburos
		3,38		0							
		4,00							20,9/0		
		5,00				5,20	⊗	P3/C		20,9/0	
		6,00		6,27							6.0 Gravas
	6,27										
	7,00										
	7,67										
	8,00										
	8,70										
	9,00										
	10,00										
	11,00										
	12,00										

Leyenda:

Nivel freático	Nivel producto libre
Cemento	Muestra alterada
Bentonita	Tubo PVC Ciego
Gravilla	Tubo PVC Filtro
	Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:  
(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof. (m)
26-11-97	15:00	-6,27

Lugar: Planta Petrolube-Callao

Nº Proyecto: P-6250

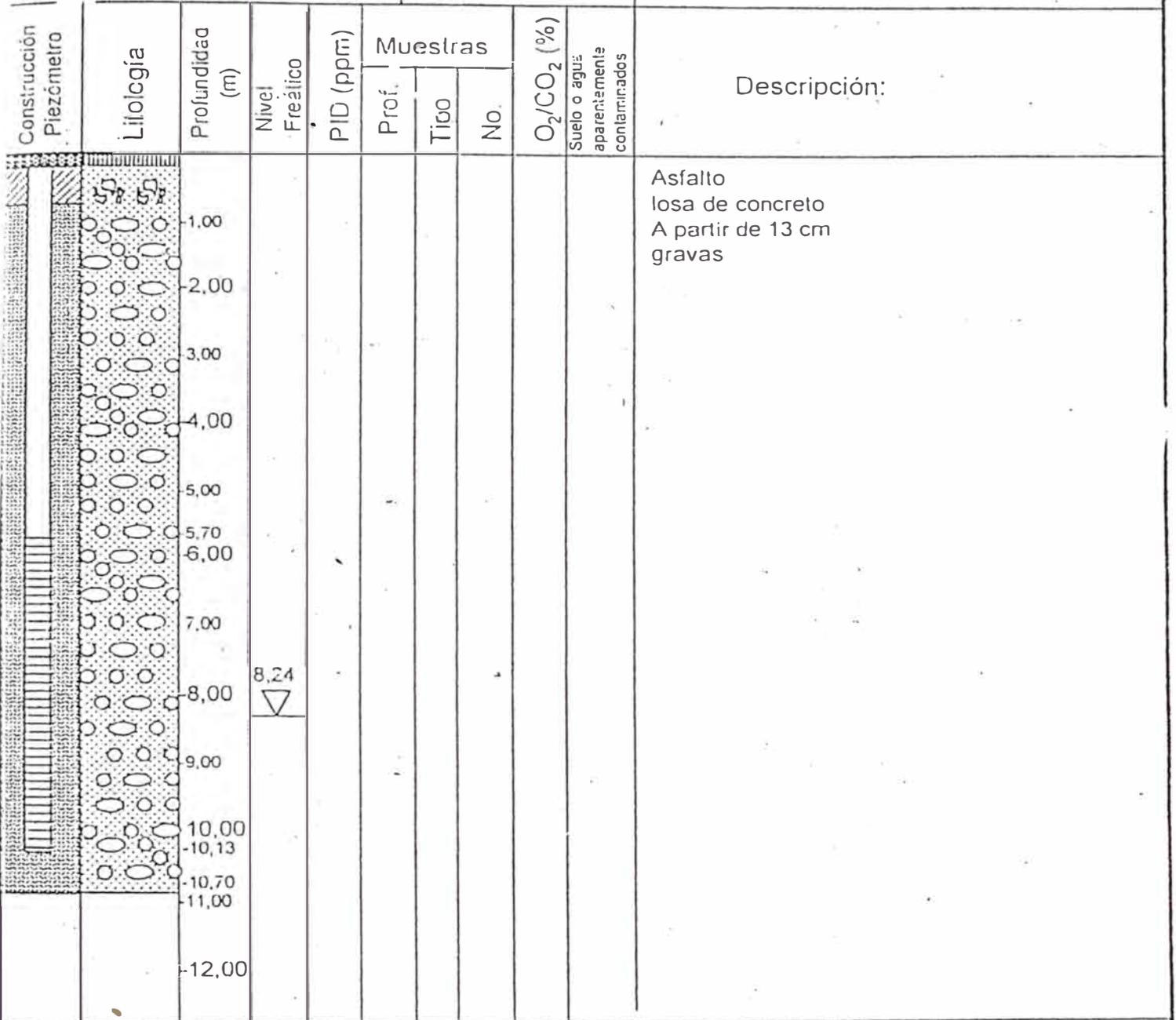
Ubicación: ver Figura

Sondeo: P-4  
Hoja: 1 de 1

Técnica de perforación y diámetro del sondeo:  
Rotación con recuperación continua de testigo.  
Diámetro: 116 mm

Sondistas:  
Geotecnia

Fecha/hora: Comienzo: 27-11-97/8:00 Fin:28-11-97/19:00



Leyenda:  Nivel freático  Nivel producto libre

-  Cemento
-  Muestra alterada
-  Bentonita
-  Tubo PVC Ciego
-  Gravilla
-  Tubo PVC Filtrc
-  Muestra de agua.

Cota relativa del piezómetro:

(medida desde el borde superior del tubo piezométrico)

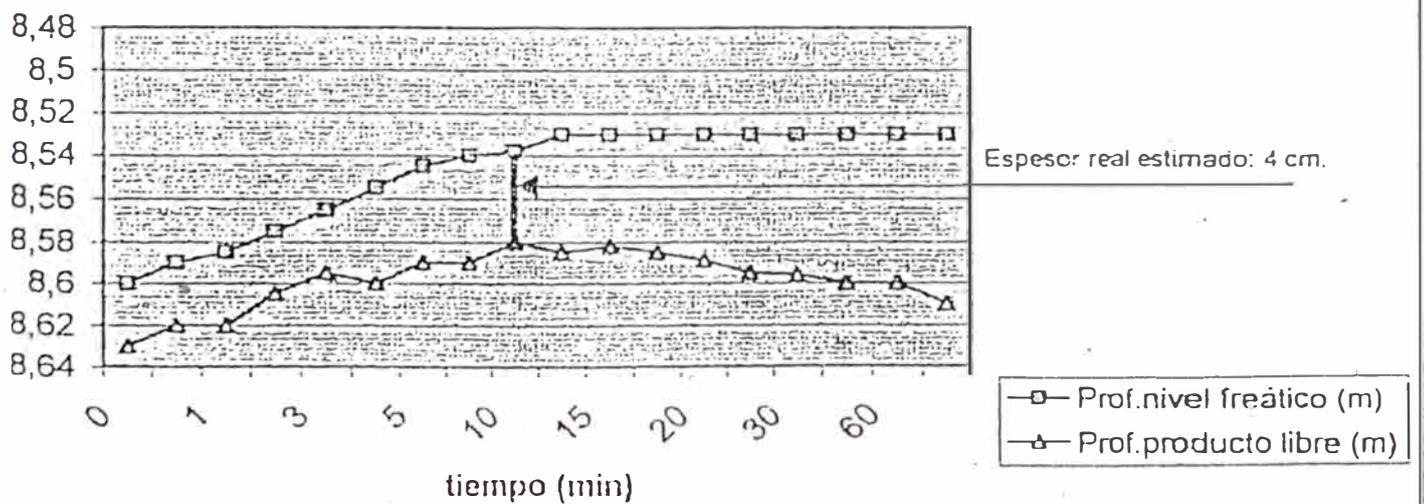
Nivel Freático		
Fecha	Hora	Prof. (m)
28-11-97	19:00	-8.24

**Anexo F:**

**Resultados del ensayo "Baildown"  
en el Pozo P1**

RESULTADOS DEL ENSAYO "BAILDOWN"  
EN EL PIEZOMETRO P-1

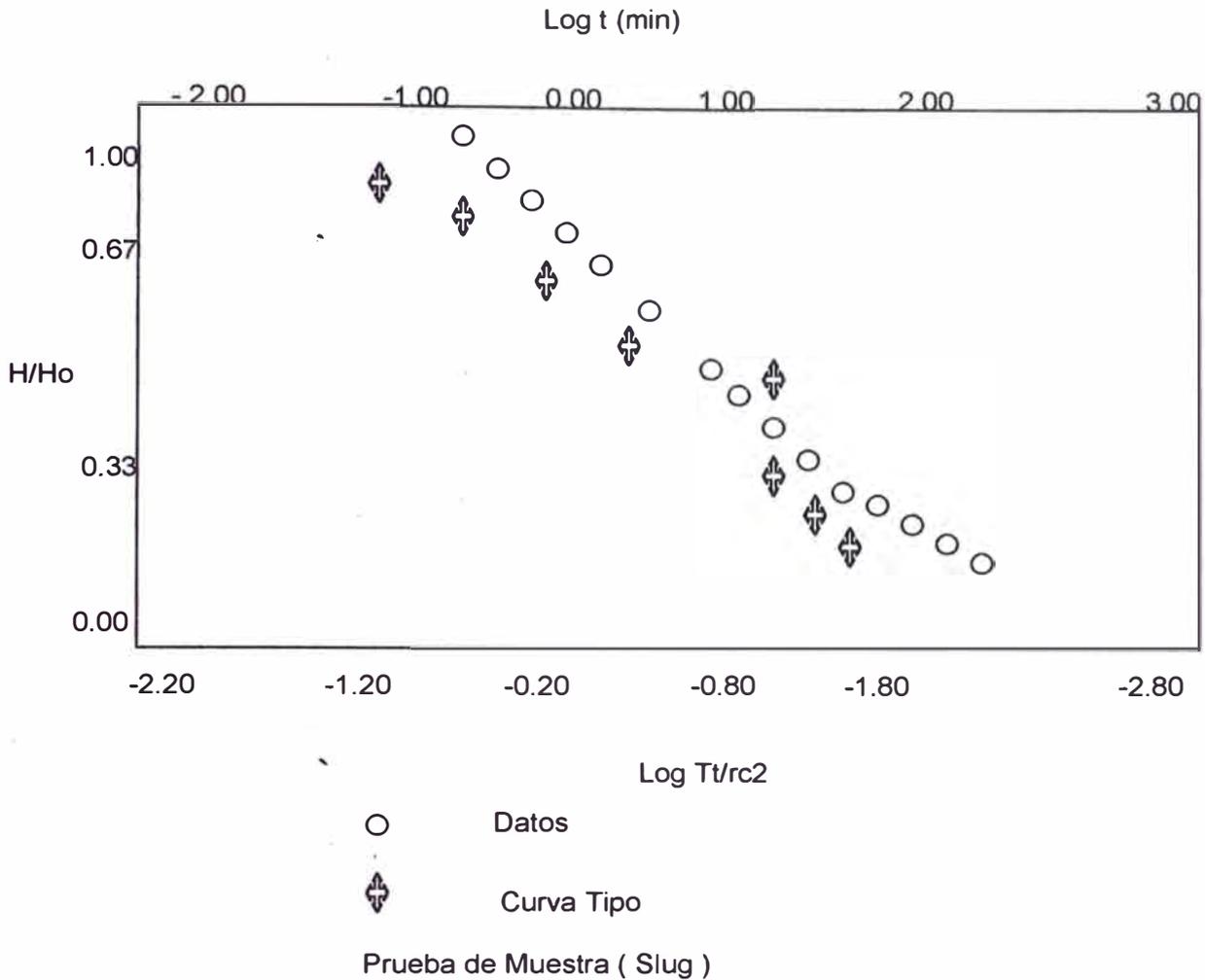
Tiempo (min)	Prof.prod.libre (m)	Prof.freático (m)	Espesor prod.libre (m)
Inicial	8,36	9,23	0,87
0	8,6	8,63	0,03
0,5	8,59	8,62	0,03
1	8,585	8,62	0,035
1,5	8,575	8,605	0,03
3	8,555	8,595	0,03
4	8,555	8,6	0,045
5	8,545	8,59	0,045
7,5	8,54	8,59	0,05
10	8,538	8,58	0,042
12,5	8,53	8,585	0,055
15	8,53	8,582	0,052
17,5	8,53	8,585	0,055
20	8,53	8,589	0,059
25	8,53	8,595	0,065
30	8,53	8,596	0,066
40	8,53	8,6	0,07
60	8,53	8,6	0,07
120	8,53	8,61	0,08



Anexo G:

**Resultados de los ensayos  
de Permeabilidad**

## PRUEBA DE PERMEABILIDAD SONDEO P2



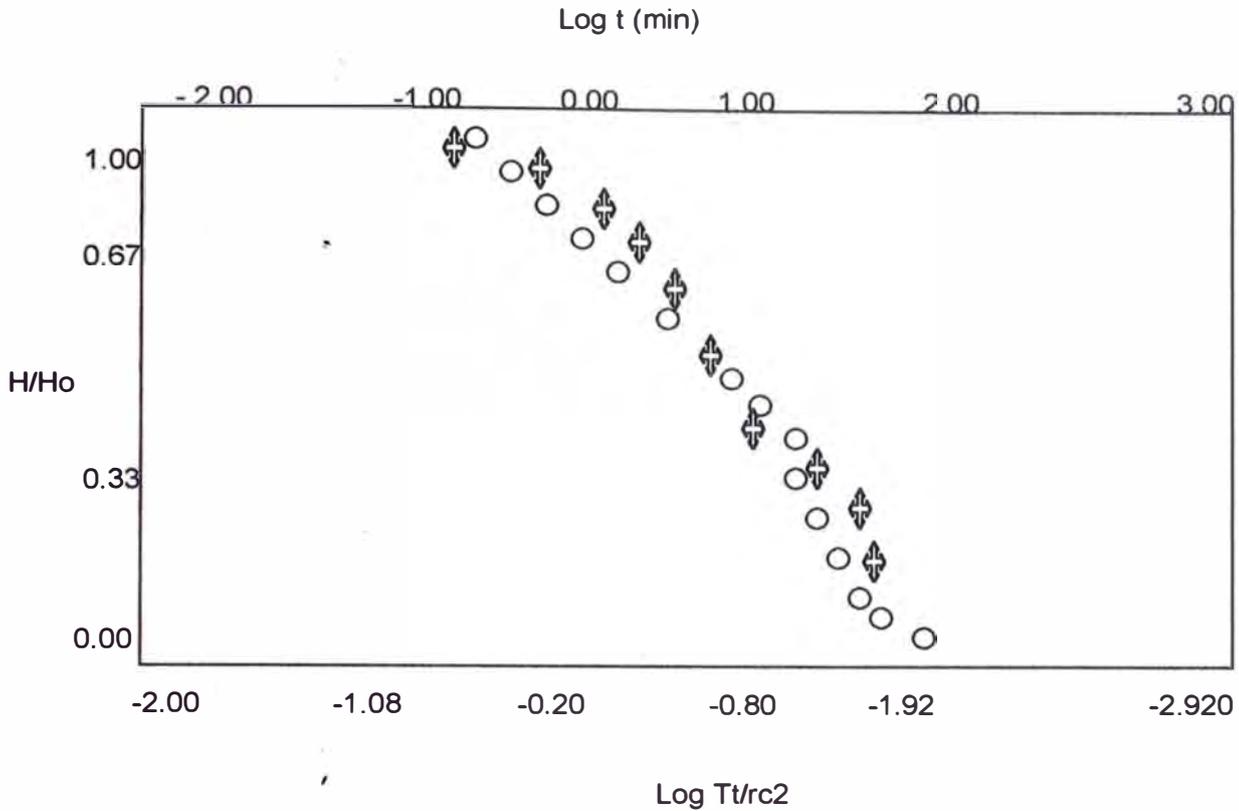
PUNTO DE CONTROL	RESULTADOS
T = 1.00E -0001 Tt / rc2 = 6.310E-0002	Transmisidad = 6.572E-0006 sqm/seg Conductividad Hidraulica = 2.1958E-0005 m/seg Estabilidad = 1.958E-0005
INFORMACION DEL SONDEO	
INFORMACION DEL POZO FECHA DE PRUEBA ESPESOR DEL ACUIFERO VOLUMEN DE LA MUESTRA RADIO EFECTIVO RADIO DEL HUECO AL NIVEL DEL AGUA	P2 15/12/97 3.000e+0001 m 1.900E-0002 CU m 5.650 E-0002 m 2.500E - 0002 m

**INFORMACION PARA LA INYECCION DE LA MUESTRA**

SONDEO	P2
ESPESOR	30.00 m
CARGA EN VOLUMEN DE AGUA	0.019CU m
RADIO EFECTIVO OF WELL	0.056 m
RADIO DEL REVESTIMIENTO DE PVC	0.025 m

<b>N °</b>	<b>Tiempo (t) ( minutos )</b>	<b>Carga (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>H/Ho</b>
1	0.000	8.460		
2	0.050	7.460	1.000	1.000
3	0.500	7.550	0.910	0.910
4	1.000	7.760	0.700	0.700
5	2.000	7.890	0.570	0.570
6	3.000	8.100	0.360	0.360
7	4.000	8.145	0.315	0.315
8	5.000	8.170	0.290	0.290
9	6.000	8.185	0.275	0.275
10	7.000	8.190	0.270	0.270
11	8.000	8.200	0.260	0.260
12	9.000	8.205	0.255	0.255
13	10.00	8.210	0.250	0.250
14	12.50	8.252	0.230	0.230
15	15.00	8.252	0.208	0.208
16	17.50	8.262	0.198	0.198
17	20.00	8.275	0.185	0.185
18	25.00	8.307	0.153	0.153
19	30.00	8.330	0.130	0.130
20	35.00	8.350	0.110	0.110
21	60.00	8.460	0.000	0.000

## PRUEBA DE PERMEABILIDAD SONDEO P3



○ Datos  
 ⊕ Curva Tipo  
 Prueba de Muestra ( Slug )

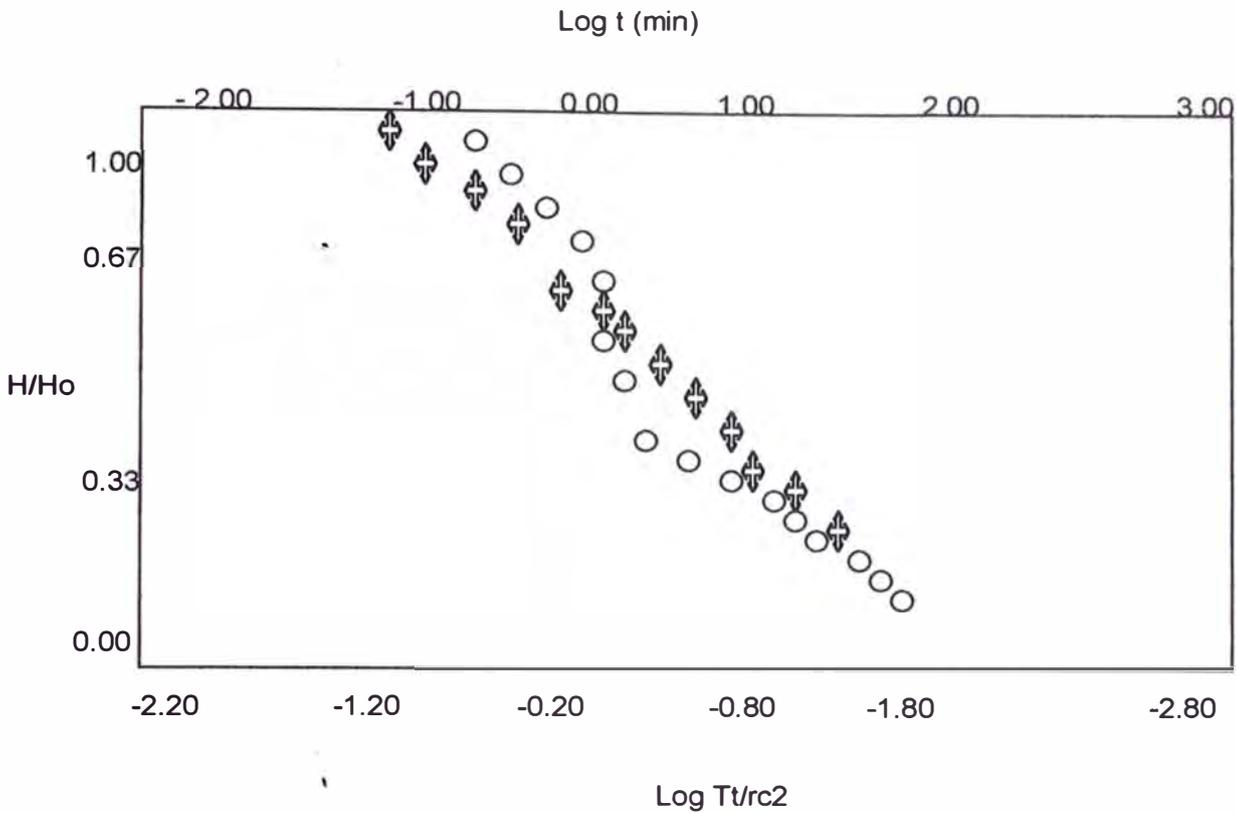
PUNTO DE CONTROL	RESULTADOS
T = 1.00E -0001 Tt / rc2 = 8.310E-0002	Transmisidad = 8.664E-0006 sqm/seg Conductividad Hidraulica = 2.888E-0005 m/seg Estabilidad = 1.958E-0005
INFORMACION DEL SONDEO	
INFORMACION DEL POZO FECHA DE PRUEBA ESPESOR DEL ACUIFERO VOLUMEN DE LA MUESTRA RADIO EFECTIVO RADIO DEL HUECO AL NIVEL DEL AGUA	P2 15/12/97 3.000e+0001 m 8.580E-0002 CU m 5.650 E-0002 m 2.500E - 0002 m

### INFORMACION PARA LA INYECCION DE LA MUESTRA

SONDEO	P3
ESPESOR	30.00 m
CARGA EN VOLUMEN DE AGUA	0.009CU m
RADIO EFECTIVO OF WELL	0.056 m
RADIO DEL REVESTIMIENTO DE PVC	0.025 m

N °	Tiempo (t) ( minutos )	Carga (m)	H (m)	H/Ho
1	0.000	6.150		
2	0.050	1.780	4.370	1.000
3	0.500	2.370	3.780	0.865
4	1.000	2.510	3.640	0.833
5	2.000	2.680	3.470	0.794
6	3.000	2.720	3.430	0.785
7	4.000	2.940	3.210	0.735
8	5.000	3.125	3.025	0.692
9	6.000	3.350	2.80	0.641
10	7.000	3.550	2.60	0.595
11	8.000	5.090	1.060	0.243
12	9.000	5.470	0.680	0.156
13	10.00	5.570	0.5480	0.133
14	12.50	5.660	0.490	0.112
15	15.00	5.800	0.350	0.080
16	17.50	5.830	0.320	0.073
17	20.00	5.850	0.200	0.069
18	25.00	5.870	0.280	0.064
19	30.00	6.030	0.120	0.027
20	35.00	6.090	0.060	0.014
21	40.00	6.090	0.060	0.014

## PRUEBA DE PERMEABILIDAD SONDEO P4



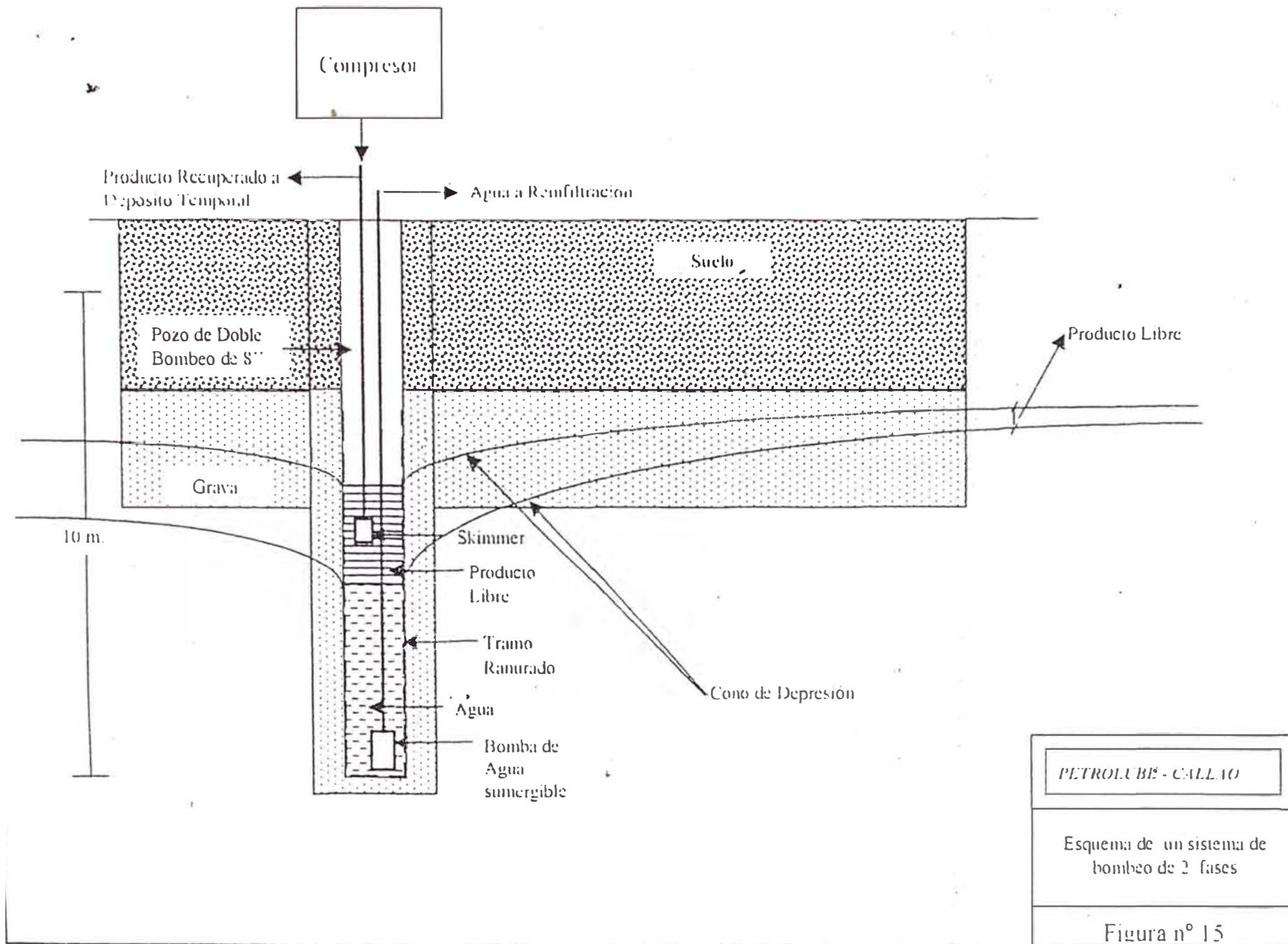
○ Datos  
 ⊕ Curva Tipo  
 Prueba de Muestra ( Slug )

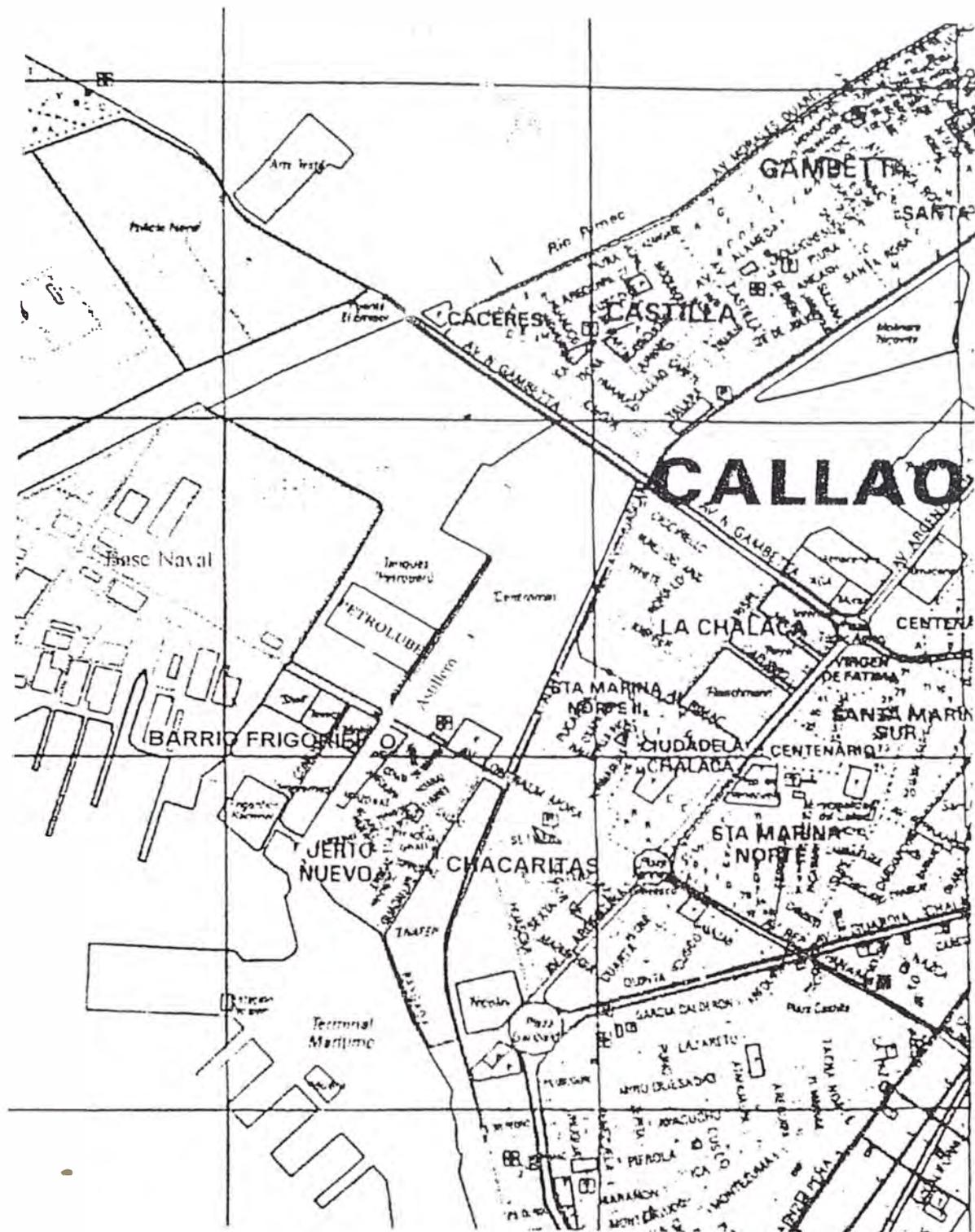
PUNTO DE CONTROL	RESULTADOS
T = 1.00E -0001 Tt / rc2 = 1.514E-0002	Transmisidad = 1.577E-0006 sqm/seg Conductividad Hidraulica = 5.225E-0005 m/seg Estabilidad = 1.958E-0005
INFORMACION DEL SONDEO	
INFORMACION DEL POZO FECHA DE PRUEBA ESPESOR DEL ACUIFERO VOLUMEN DE LA MUESTRA RADIO EFECTIVO RADIO DEL HUECO AL NIVEL DEL AGUA	P2 15/12/97 3.000e+0001 m 3.000E-0002 CU m 5.650 E-0002 m 2.500E - 0002 m

## INFORMACION PARA LA INYECCION DE LA MUESTRA

SONDEO	P4
ESPESOR	30.00 m
CARGA EN VOLUMEN DE AGUA	0.003 m
RADIO EFECTIVO OF WELL	0.056 m
RADIO DEL REVESTIMIENTO DE PVC	0.025 m

N °	Tiempo (t) ( minutos )	Carga (m)	H (m)	H/Ho
1	0.000	8.190		
2	0.050	6.660	1.530	1.000
3	0.500	6.750	1.440	0.941
4	1.000	6.880	1.310	0.856
5	2.000	6.990	1.200	0.784
6	3.000	7.370	0.820	0.536
7	4.000	7.460	0.730	0.477
8	5.000	7.630	0.560	0.366
9	6.000	7.750	0.440	0.288
10	7.000	7.825	0.310	0.203
11	8.000	7.880	0.310	0.203
12	9.000	7.950	0.240	0.157
13	10.00	7.985	0.205	0.134
14	12.50	8.030	0.160	0.105
15	15.00	8.095	0.095	0.062
16	17.50	8.120	0.070	0.046
17	20.00	8.140	0.050	0.033
18	25.00	8.160	0.030	0.020
19	30.00	8.190	0.000	0.000

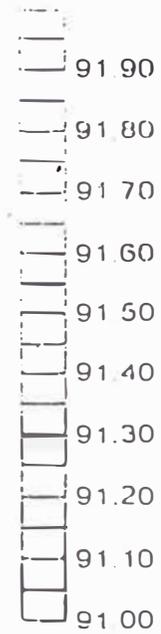




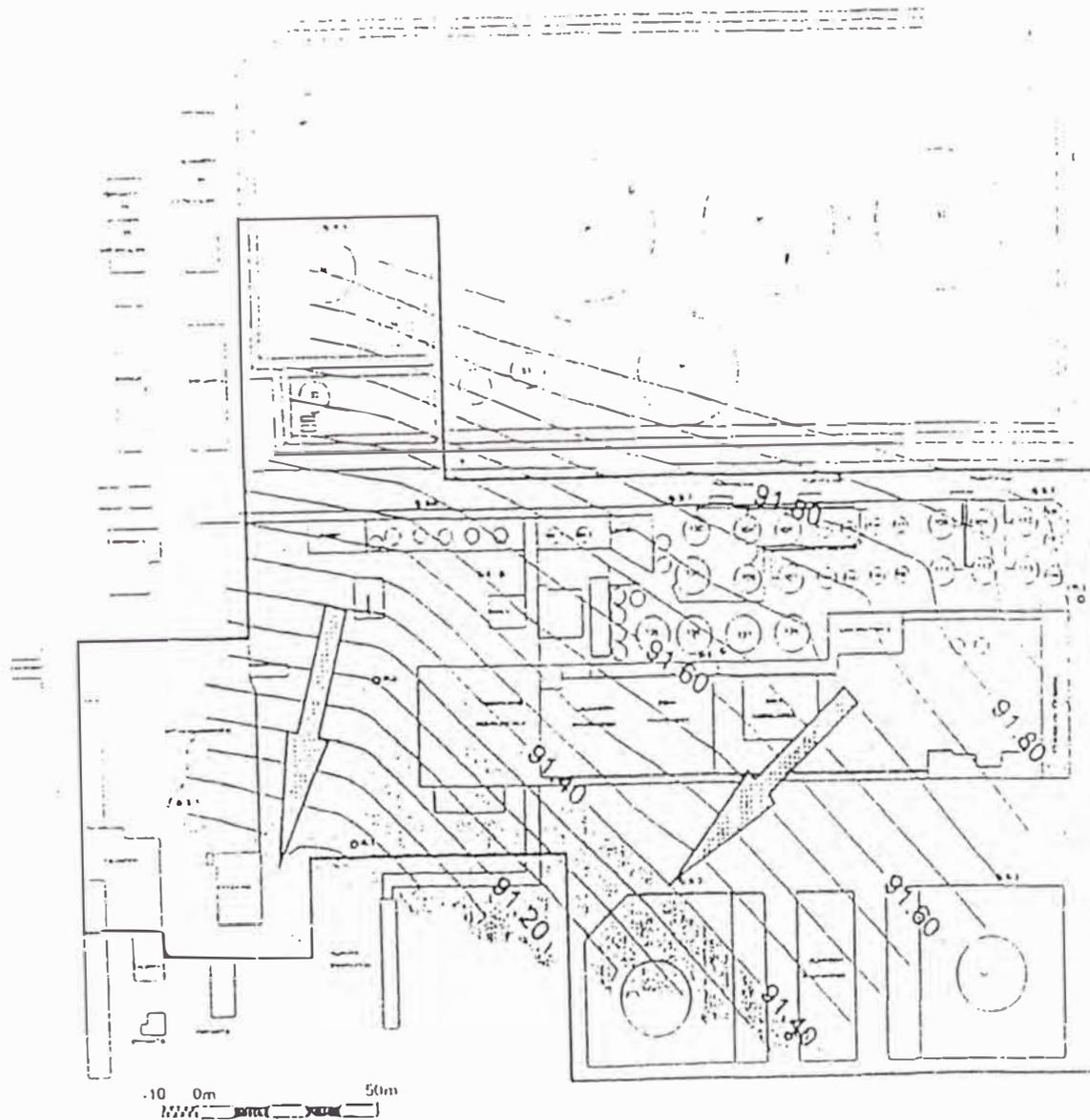
<b>PETROLUBE-CALLAO</b>
Trayectoria de la Tuberia de Carga
Figura 14



Cota relativa del nivel  
freático en metros



Dirección del  
Flujo subterráneo



PETROLUBE - CALLAO

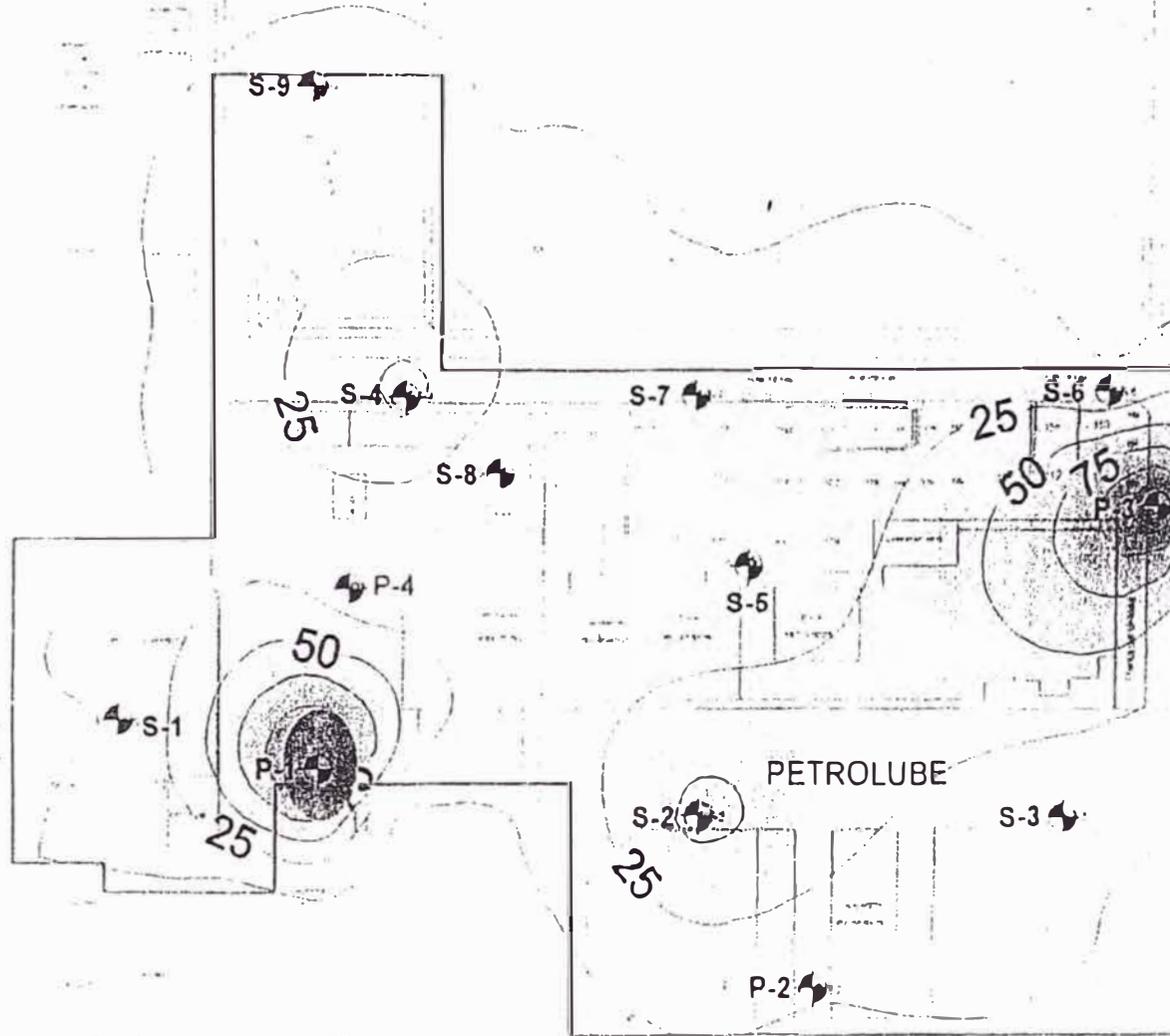
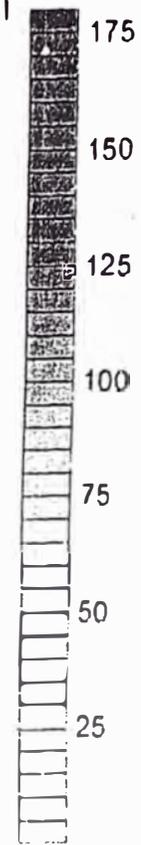
Mapa de Isopiezas

Figura 13

PETROPERU



Concentración de Hidrocarburos totales en mg/l



PETROLUBE- CALLAO

Penacho de Producto Libre  
v  
concentración de Hidrocarburos  
Totales en aguas

P-2 Pozo

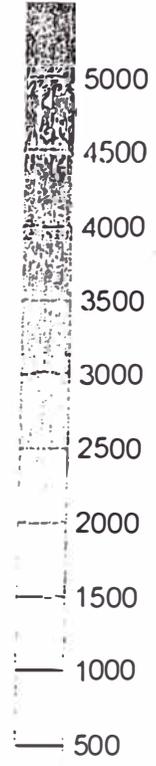
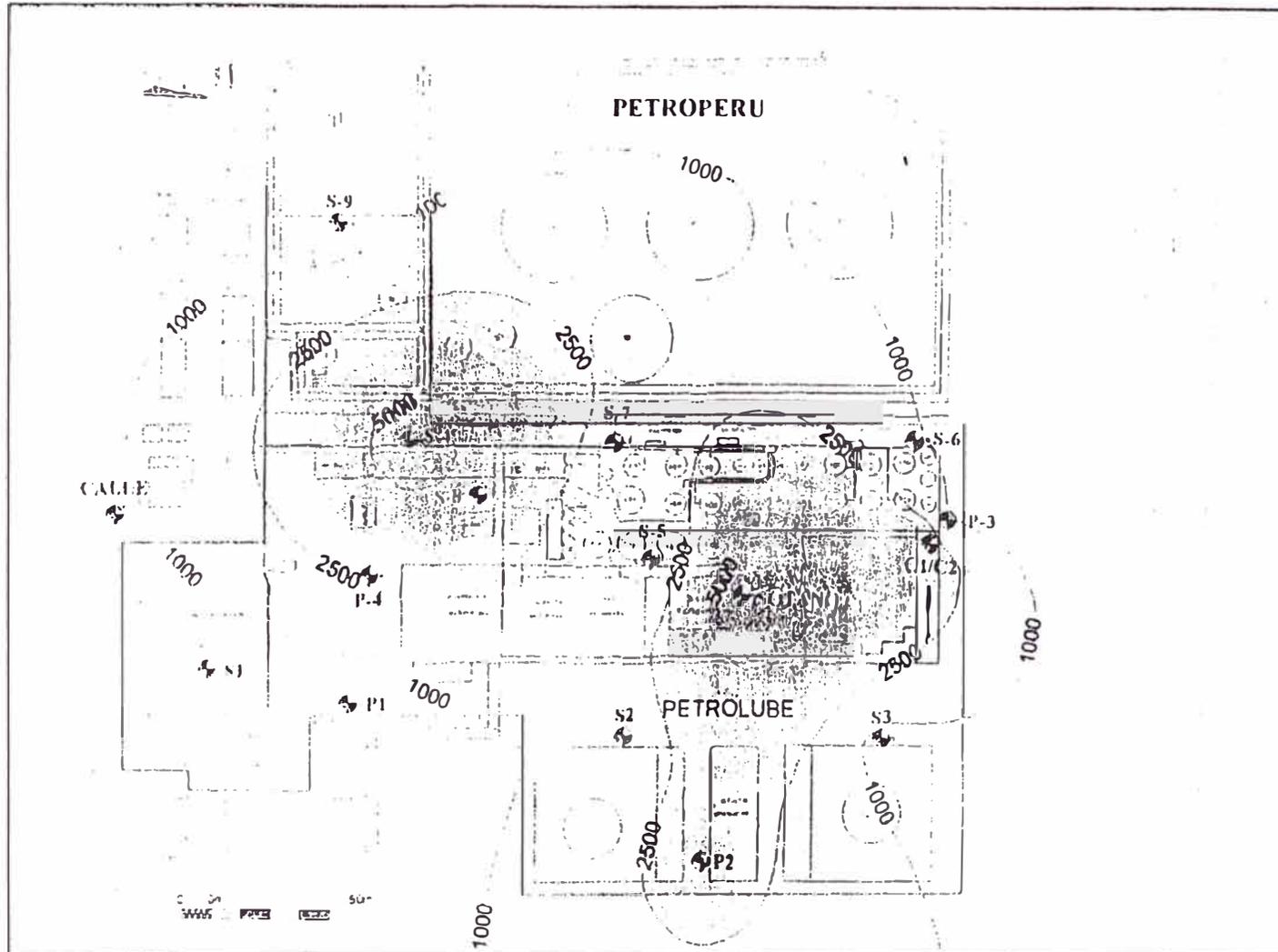
S-3 Sondeo

Penacho de Producto Libre en P-1

Figura 12



Concentración de hidrocarburos totales en suelo (mg/ kg )



**PETROLUBE- CALLAO**

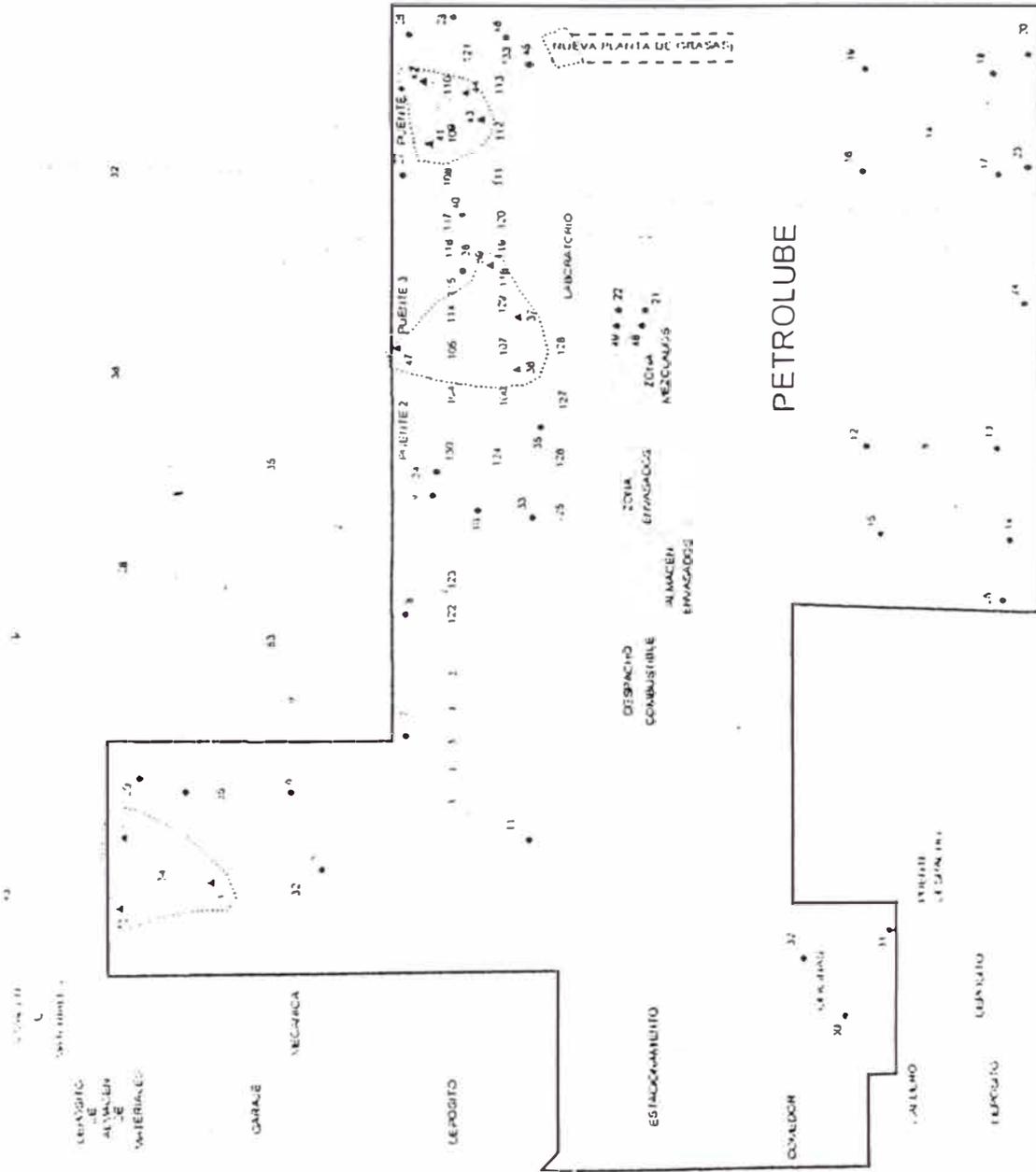
Distribución de la contaminación por hidrocarburos en el suelo "somero"

Figura 10





PETROPERU



Av. Mantegui

INGRESO

Leyenda

- 500 Tanque de Almacenamiento
- 10 • Perforación PID
- 37 ▲ Perforación de PID con HIC Adheridos a la barrera
- Limite de Petrolube
- Suelo Visiblemente Contaminado con HIC

0m 10m 50m

PETROLUBE-CALLAO

Ubicación de las Zonas Contaminadas con Hidrocarburos

Figura 6



**Leyenda**

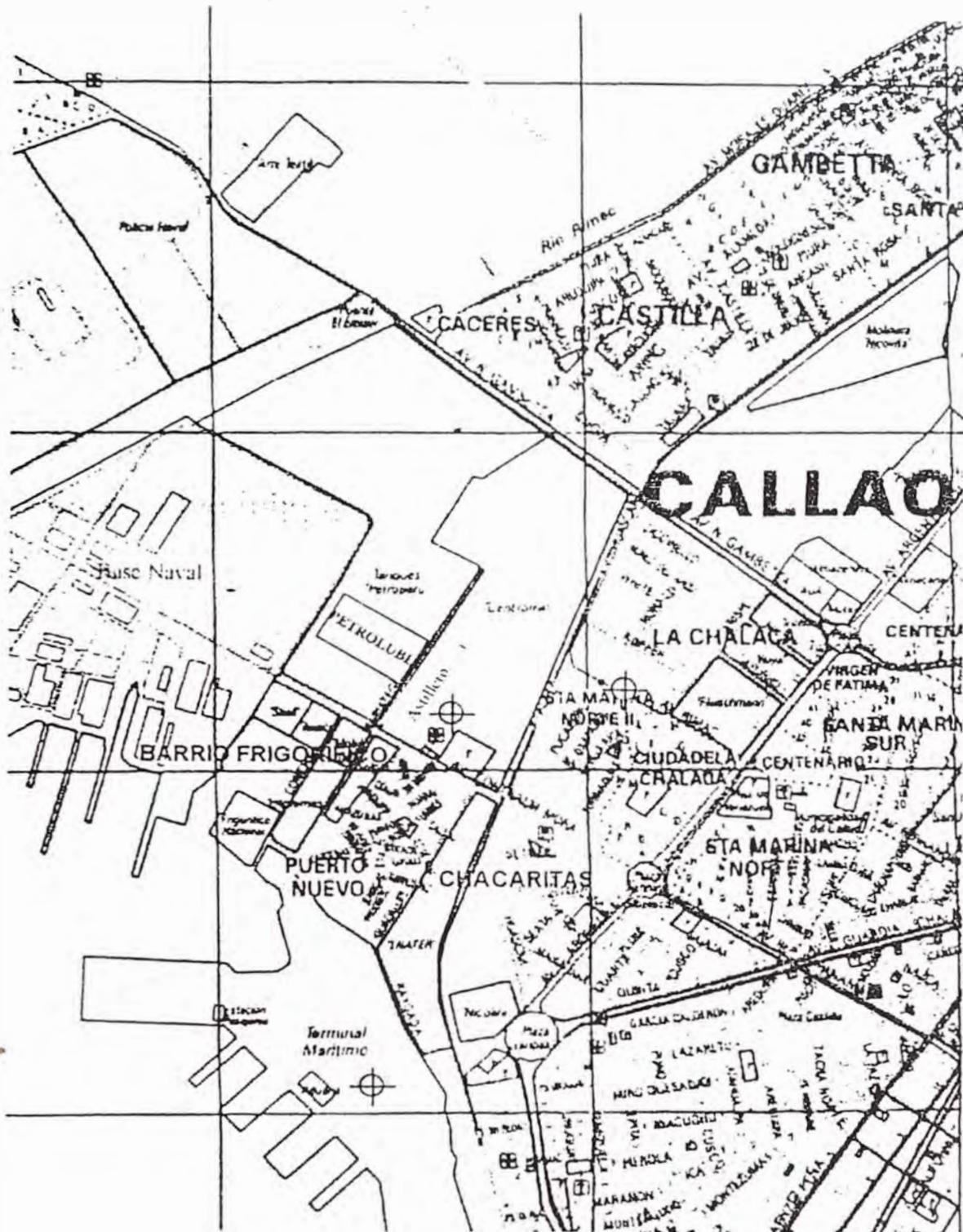
Red areas					
Blue areas					
Green areas					
Yellow areas					
White areas					
Black areas					
Grey areas					
Diagonal lines					
Horizontal lines					
Vertical lines					
Stippled pattern					
Other patterns					

**PETROLUBE-CALLAO**

Mapa Geológico

Figura 5





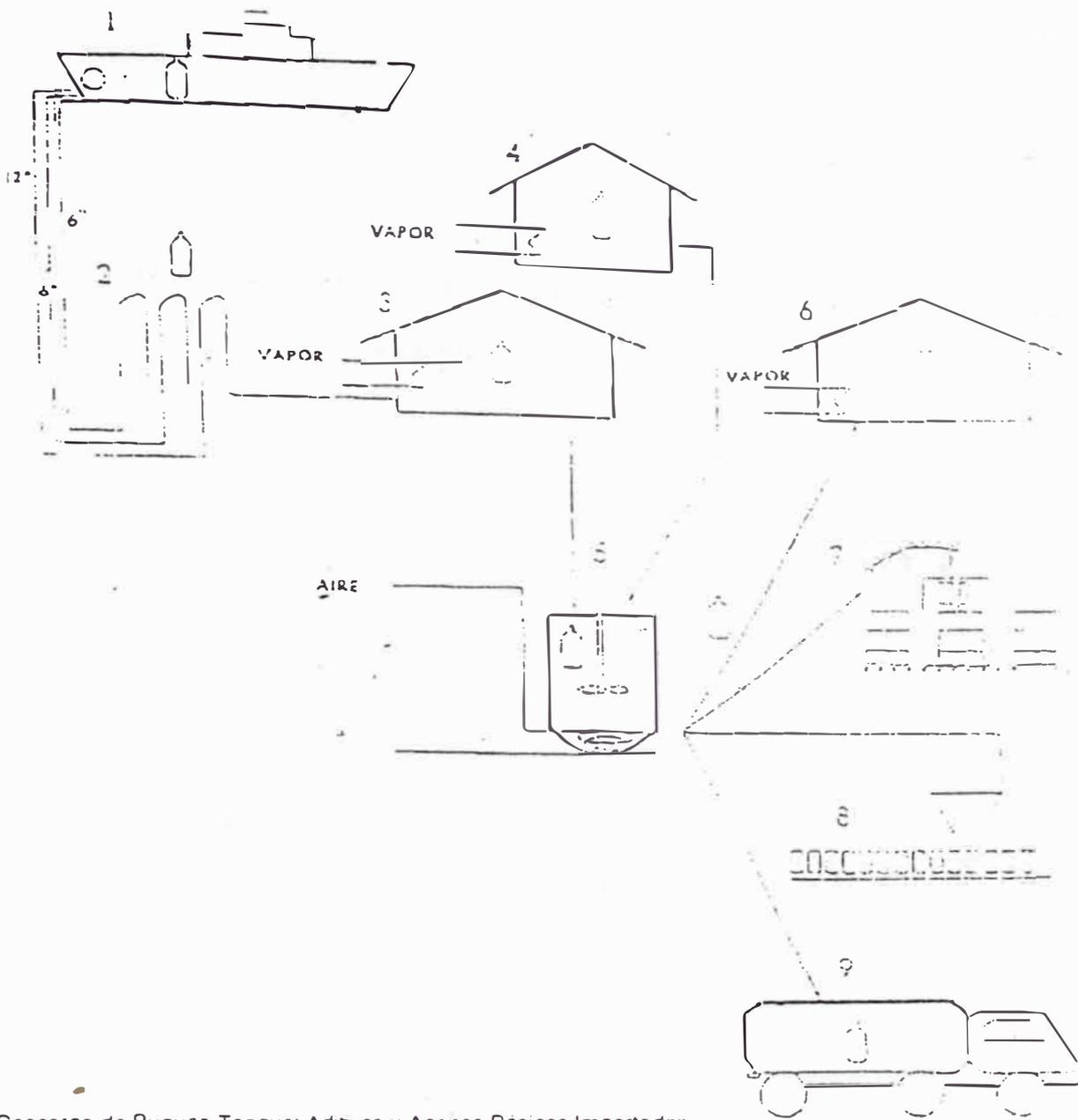
☉ Pozo de extracción de agua potable (SEDAPAL)



PETROLUBE-CALLAO

Ubicación de Pozos de Extracción de Agua Potable (Sedapal)

Figura 4

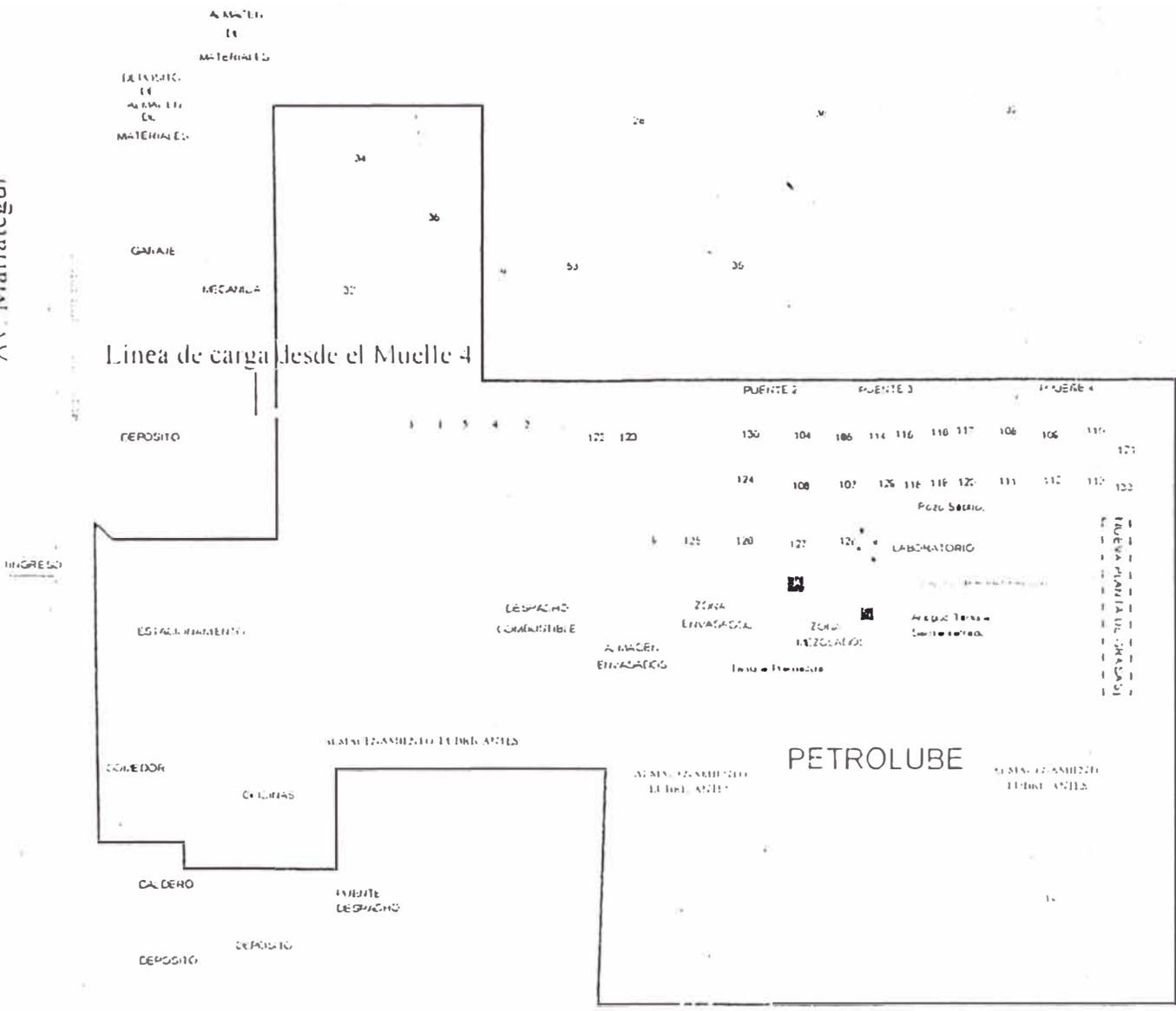


- 1 - Descarga de Buques Tanque: Aditivos y Aceites Basicos Importados
- 2 - Lineas de Distribucion
- 3 - Tanques Receptores de Aceites Basicos
- 4 - Tanques Receptores de Aditivos a Granel
- 5 - Mezcladores
- 6 - Lubricantes Terminados
- 7 - Envasado/Despacho de Cilindros
- 8 - Llenadora de Envases
- 9 - Despacho por Cisternas
- 🍷 Muestreo para Pruebas de Calidad

<b>PETROLUBE- CALLAO</b>
Diagrama de Flujo
Figura 3

# PETROPERU

Av. Mariátegui



### Leyenda

- Tanque de Almacenamiento
- Limite de Petroperu

**PETROLUBE - CALLAO**

Planta de Lubricantes de Petroperu

PETROPERU

Figura 2



**Anexo:**

**Figuras**

PROYECTO Concesiones "Minera Amalia L.F. y Cecilia L.F."

Matriz de Leopold

Identificación de Impactos Ambientales

Acciones / Características		Transformación del Emplazamiento			Extra-cción del Recurso	Operaciones		Situación y Tratamiento			Accidentes	
		Accesos	Emplazam. de Planta	Obras Sociales	Excavaciones	Extracción de Arena y Piedra Chancada	Almacenam. de los productos	Destino y tratamiento de Residuos	Efluentes domésticos	Residuos sólidos	Transporte de Arena y Piedra Chanacada	Escapes y Fallas
Suelo	Suelos				- M	- L			- L	- L		
	Geomorfología	- M			- M	- M						
Aire	Calidad	- M		+ L	- M	- M	- M					
Agua Subterránea	Calidad						- M					
Flora	Especies			+ L								
Fauna	Especies			+ L								
Estético	Paisajístico			+ M						- L		
Nivel cultural	Estilo de vida			+ M								
	Seguridad y salud			+ M	- L						- L	- L
	Empleo			+ L	+ L	+ L						

F  
M

Impacto Positivo  
Impacto Negativo