

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## ***UBICACIÓN, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA CASO DE ESTUDIO: CERVECERÍA POLAR LOS CORTIJOS C.A***

Tutor Académico: Ing°. Eudoro López.

Tutor Industrial: Ing°. Augusto Báez.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
para optar al Título de Ingeniero Químico  
por la Br. García Machado, Vanessa Alexandra.

Caracas, Mayo de 2003

**García M., Vanessa A.**

**UBICACIÓN, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y  
OPERACIÓN DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA  
CASO DE ESTUDIO: CERVECERÍA POLAR LOS CORTIJOS C.A**

**Tutor Académico: Ing. Eudoro López. Tutor Industrial: Ing. Augusto Báez.  
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.  
Año 2003, 130 Pág.**

**Palabras Claves:** Agua, Perforación, Pozo,  
Optimización.

**Resumen.** Cervecería Polar Los Cortijos necesita grandes caudales de agua como materia prima en la producción de bebidas, la cual usa gran parte proveniente de aguas subterráneas para reducir costos. En vista de la importancia que reviste el suministro de agua procedente de los pozos, y tomando en cuenta la situación de escasez del recurso en que se encuentran, la empresa consideró necesario perforar nuevos pozos, para esto se realizó el seguimiento de la construcción de dos pozos nuevos posteriores a cuatro perforaciones exploratorias, con la finalidad de poder realizar una metodología general que abarcara todos los pasos que se deben seguir en la ubicación, diseño, construcción, mantenimiento y operación de cualquier pozo que se desee obtener. Al mismo tiempo se optimizó la operación del campo de pozos y el sistema de recepción mediante la ejecución un plan de consumo de agua trayendo como beneficios la estabilidad en niveles, caudales y sistemas de bombeo aportando como consecuencia directa la reducción en el consumo de energía y disminución de turbidez.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS .....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	I
<b>CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Planteamiento del Problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1. <i>Objetivo General</i> .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II.- LA EMPRESA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Reseña Histórica de Empresas Polar .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Blancas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1. <i>Descripción General del Sistema Actual de Abastecimiento para Uso Industrial en Cervecería Polar los Cortijos</i>.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2. <i>Descripción de la Operación del Sistema de Recepción</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.3. <i>Uso y Manejo del Agua en la Cervecería</i>.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. Origen y Formación del Agua Subterránea.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.1. <i>Aguas Subterráneas</i> .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.2. <i>Acuífero</i>.....</b>	<b>16</b>

<b>3.2. Propiedades Físicas, Químicas y Microbiológicas del Agua .....</b>	<b>17</b>
3.2.1. <i>Propiedades Físicas</i> .....	17
3.2.2. <i>Propiedades Químicas</i> .....	18
3.2.3. <i>Propiedades Microbiológicas</i> .....	19
<b>3.3. Etapas para la Construcción de Pozos de Agua Subterránea .....</b>	<b>20</b>
3.3.1. <i>Ubicación</i> .....	21
3.3.2. <i>Exploración</i> .....	23
3.3.3. <i>Perforación</i> .....	25
3.3.4. <i>Diseño</i> .....	29
3.3.5. <i>Construcción</i> .....	39
<b>3.4. Hidráulica de Pozos.....</b>	<b>42</b>
3.4.1. <i>Pruebas de Bombeo</i> .....	43
3.4.2. <i>Pruebas de Interferencia</i> .....	46
<b>3.5. Indicadores Operacionales de Pozos de Aguas Subterráneas .....</b>	<b>48</b>
3.5.1. <i>Turbidez</i> .....	48
3.5.2. <i>Disminución de la capacidad productora de un pozo.</i> .....	50
3.5.3. <i>Contaminación</i> .....	53
<b>3.6. Desarrollo y Mantenimiento de Pozos de Agua.....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO IV.- METODOLOGÍA .....</b>	<b>59</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
<i>Evaluación de Pozos Existentes</i> .....	65
Pruebas de Bombeo.....	70
<i>Construcción de Pozos</i> .....	72

Perforación Exploratoria 1 (P.E-1).....	72
Perforación Exploratoria 2 (P.E-2).....	74
Perforación Exploratoria 3(P.E-3).....	83
Perforación Exploratoria 4 (P.E-4).....	84
<i>Evaluación de los parámetros de operación del campo de pozos .....</i>	<i>89</i>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>105</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>107</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>110</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Regulaciones para aguas de consumo.....	19
<b>Tabla 2.</b> Regulaciones microbiológicas para aguas de consumo.....	20
<b>Tabla 3.</b> Distancias mínimas exigidas para la ubicación de nuevos pozos.....	23
<b>Tabla 4.</b> Tabla comparativa de los métodos exploratorios.....	24
<b>Tabla 5.</b> Métodos de Perforación.....	25
<b>Tabla 6.</b> Diámetros recomendados en pozos.....	31
<b>Tabla 7.</b> Tipos de Rejillas.....	33
<b>Tabla 8.</b> Aberturas de rejillas de ranura continua disponibles en el mercado.....	35
<b>Tabla 9.</b> Material recomendado para rejillas de pozos y sus aplicaciones.....	36
<b>Tabla 10.</b> Tamaño de Gravas.....	42
<b>Tabla 11.</b> Materiales recomendados para la construcción de bombas de pozos de agua.....	52
<b>Tabla 12.</b> Métodos mecánicos de limpieza y desarrollo de pozos.....	55
<b>Tabla 13.</b> Sustancias químicas para limpieza y desarrollo de pozos.....	56
<b>Tabla 14.</b> Descripción litológica del material encontrado en P.E-1, según la muestras tomadas.....	73
<b>Tabla 15.</b> Características Hidráulicas de P.E-1.....	73
<b>Tabla 16.</b> Descripción litológica del material encontrado en P.E-2, según la muestras tomadas.....	74
<b>Tabla 17.</b> Diseño del entubado de P.E-2.....	76
<b>Tabla 18.</b> Efectividad del método de Pistoneo en el desarrollo de P.E-2 .....	77
<b>Tabla 19.</b> Resultados de la prueba de bombeo preliminar de P.E-2.....	77
<b>Tabla 20.</b> Resultados de análisis físico-químico efectuado al pozo P.E-2.....	78
<b>Tabla 21.</b> Resultados de análisis microbiológico efectuados al pozo P.E-2.....	78

<b>Tabla 22.</b> Descripción litológica del material encontrado en PE-3, según la muestras tomadas.....	84
<b>Tabla 23.</b> Descripción litológica del material encontrado en PE-4, según la muestras tomadas.....	85
<b>Tabla 24</b> Diseño del entubado de P.E-4.....	86
<b>Tabla 25.</b> Efectividad del método de Pistoneo.....	86
<b>Tabla 26.</b> Resultados de la prueba de bombeo preliminar de P.E-4.....	86
<b>Tabla 27.</b> Resultados de análisis físico-químico efectuado al pozo de PE-4.....	87
<b>Tabla 28.</b> Resultados de análisis microbiológico efectuados al pozo PE-4.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Diagrama de Flujo de la PTAB.....	9
<b>Figura 2.</b> Esquema del Sistema de Recepción.....	10
<b>Figura 3.</b> Características del Sistema de Recepción.....	12
<b>Figura 4.</b> Tipos de Acuífero.....	17
<b>Figura 5.</b> Diagrama de bloque para la construcción de pozos.....	21
<b>Figura 6.</b> Brocas o mechas de Perforación empleadas en Cervecería Polar Los Cortijos...26	
<b>Figura 7.</b> Sección móvil de la Máquina de Perforación.....	27
<b>Figura 8.</b> Sección Fija de la Máquina de Perforación.....	27
<b>Figura 9.</b> Comparación de muestras con el registro eléctrico.....	29
<b>Figura 10.</b> Perfil de construcción de un pozo.....	30
<b>Figura 11.</b> Tipos de Rejillas.....	34
<b>Figura 12.</b> Ubicación de las rejillas en función del registro eléctrico.....	35
<b>Figura 13.</b> Bomba sumergible vertical.....	38
<b>Figura 14.</b> Filtro de grava.....	40
<b>Figura 15.</b> Gráfico de una prueba de bombeo.....	44
<b>Figura 16.</b> Manifestación de la interferencia entre dos pozos.....	47
<b>Figura 17.</b> Efectos de una bomba ubicada en rejilla.....	48
<b>Figura 18.</b> Acumulación de sólidos al final del lápiz.....	49
<b>Figura 19.</b> Formación de puentes de grava.....	51
<b>Figura 20.</b> Disposición de los equipos para mantenimiento con aire.....	57
<b>Figura 21.</b> Equipo de Hidrofracturación.....	58

<b>Gráfico N° 1.</b> Evaluación de las características hidráulicas del pozo 1.....	65
<b>Gráfico N° 2.</b> Evaluación de las características hidráulicas del pozo 2.....	66
<b>Gráfico N° 3.</b> Evaluación de las características hidráulicas del pozo 3.....	66
<b>Gráfico N° 4.</b> Evaluación de las características hidráulicas del pozo 4.....	67
<b>Gráfico N° 5.</b> Evaluación de las características hidráulicas del pozo 6.....	68
<b>Gráfico N° 6.</b> Capacidad de producción de los pozos .....	69
<b>Gráfico N° 7.</b> Prueba de bombeo del Pozo # 2.....	70
<b>Gráfico N° 8.</b> Prueba de bombeo del Pozo # 4.....	70
<b>Gráfico N° 9.</b> Comportamiento del Flujo del Pozo #3 durante la prueba de interferencia.....	79
<b>Gráfico N° 10.</b> Comportamiento del Flujo del Pozo #4 durante la prueba de interferencia.....	80
<b>Gráfico N° 11.</b> Comportamiento del flujo del pozo # 5 durante la prueba de interferencia.....	81
<b>Gráfico N° 12.</b> Comportamiento del flujo del pozo # 6 durante la prueba de interferencia.....	81
<b>Gráfico N° 13.</b> Comportamiento del flujo del pozo # 7 durante la prueba de interferencia.....	82
<b>Gráfico N° 14.</b> Prueba de bombeo del Pozo 1 Nuevo.....	83
<b>Gráfico N° 15</b> Capacidad de producción de los pozos de los últimos 5 años.....	88
<b>Gráfico N° 16.</b> Comportamiento del pozo # 2 en un día de Operación.....	90
<b>Gráfico N° 17.</b> Comportamiento del pozo # 2 en una semana de Operación.....	90
<b>Gráfico N° 18.</b> Comportamiento del pozo # 3 en un día de Operación.....	91
<b>Gráfico N° 19.</b> Comportamiento del pozo # 3 en una semana de Operación.....	92
<b>Gráfico N° 20.</b> Evaluación de la turbidez a al salida de los filtros de arena.....	93
<b>Gráfico N° 21.</b> Comportamiento de la turbidez en el tanque B.....	93

<b>Gráfico N° 22.</b> Comparación del agua planificada versus la suministrada.....	94
<b>Gráfico N° 23.</b> Comparación del agua planificada versus la suministrada.....	95
<b>Gráfico N° 24.</b> Comportamiento del pozo # 2 en un día de Operación, bajo el plan de consumo.....	96
<b>Gráfico N° 25.</b> Comportamiento del pozo # 2 en una semana de Operación, bajo el plan de consumo.....	96
<b>Gráfico N° 26.</b> Comportamiento del pozo # 3 en un día de Operación.....	97
<b>Gráfico N° 27.</b> Comportamiento del pozo # 3 en una semana de Operación.....	97
<b>Gráfico N° 28.</b> Comportamiento de la turbidez a la salida de los filtros de arena con el plan de consumo.....	98
<b>Gráfico N° 29.</b> Comportamiento de la turbidez en el tanque B con el plan de consumo.....	99
<b>Gráfico N° 30.</b> Consumo de energía de los pozos por áreas.....	99
<b>Gráfico N° 31.</b> Nomograma para calcular el caudal requerido por día.....	100

## **LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS**

**C:** capacidad específica

**CFM:** cubic feet meter

**N.D:** nivel dinámico

**N.E:** nivel estático

**P.E:** perforación exploratoria

**UFC:** unidades formadoras de colonias

**UNT:** unidades nefelométricas

**P.T.A.B:** planta de tratamiento de aguas blancas

**T:** transmisividad

## INTRODUCCIÓN

*El agua* es uno de los elementos más importantes en la elaboración de cerveza y malta. Constituye junto a la cebada malteada, la materia prima esencial de este grupo de bebidas. Además de ello, *el agua* actúa directamente en los diferentes procesos de la cervecería, tal como la cocción del mosto (agua en fase vapor), y es el elemento principal en la limpieza de los equipos, entre otros.

Debido a su gran importancia, toda infraestructura que pretenda manufacturar ese producto deberá establecerse considerando una fuente de agua cercana y confiable, tanto desde el punto de vista de cantidad como de calidad.

La Planta de Cervecería Polar ubicada en Los Cortijos de Lourdes, está situada sobre un acuífero donde se extrae a través de pozos subterráneos el 60% del requerimiento total de agua. El otro 40% es suministrado por el acueducto municipal administrado por Hidrocapital. El suministro de agua por parte de Hidrocapital es cada vez menor; actualmente este organismo raciona el agua a la cervecería dos veces por semana, obligando a la empresa a buscar agua por otro medio, el cual consiste en la explotación del agua subterránea a través de pozos.

Hoy en día la Cervecería Polar Los Cortijos cuenta con un campo de nueve pozos los cuales disminuía la dependencia al acueducto municipal, pero en los últimos años la producción sustentable de los mismos ha disminuido notablemente, es decir, los niveles de bombeo han descendido, originando un menor caudal. Esta disminución se debe a una serie de factores que van desde la condición del acuífero y condiciones climatológicas durante el año, hasta deficiencias en la ubicación, diseño, operación y mantenimiento de los pozos. Es importante recalcar que la construcción de pozos contempla una serie de pasos que se deben seguir cuidadosamente y que de ellos depende el buen desempeño de los mismos a largo plazo.

La finalidad del presente Trabajo Especial de Grado es abarcar las mejores prácticas en cuanto a ubicación, diseño, construcción, mantenimiento y operación de los de los pozos

nuevos, estableciendo la información que permita el manejo y control de los mismos para garantizar su producción sustentable y prolongar la vida útil de los mismos.

Así mismo se creará una herramienta que permita optimizar las operaciones en el campo de pozos y el sistema de recepción de la cervecería de manera que se garantice una producción de agua sustentable.

# CAPÍTULO I.- EL PROBLEMA

En el siguiente capítulo se presentan los fundamentos que fueron necesarios plantear para llevar a cabo este trabajo de investigación.

## 1.1 Planteamiento del Problema

La Cervecería Polar los Cortijos se abastece de agua por medio de 7 pozos subterráneos los cuales aportan el 60% del requerimiento total, y por 2 aducciones del acueducto municipal administrado por Hidrocapital que suministran el 40 % restante. Actualmente este organismo raciona el agua a la empresa dos veces por semana y la evaluación de pozos existentes ha determinado que la producción de estos ha mermado en los últimos años, lo cual se debe a una serie de factores que van desde la ubicación, diseño y construcción hasta la de falta de criterios en su operación y manejo.

En vista de la importancia que tiene el agua para mantener la producción de bebidas de la Cervecería, y debido a que la escasez del recurso es cada vez mayor, esta necesita nuevas fuentes para obtener el vital líquido, por lo tanto surge la necesidad de perforar nuevos pozos documentando los procedimientos involucrados y estableciendo criterios que permitan tomar decisiones al momento de construir otros pozos.

El régimen de uso del agua de los pozos no es manejado en forma óptima y trae como consecuencia frecuentes paradas y arranques de los equipos de bombeo, que a su vez originan una serie de fallas, tales como:

- Inestabilidad en caudales de operación y niveles de bombeo.
- Arrastre de sólidos.
- Taponamiento de las rejillas.
- Aumento en el consumo de energía .

La eliminación de estas fallas se logra con una mejor administración del campo de pozos, por lo que se debe establecer una planificación en la operación, para prolongar la vida útil de los mismos

En este caso, el estudio está centrado en el sistema de recepción, donde se recibe y almacena el agua de entrada, es decir el agua proveniente del acueducto metropolitano administrado por Hidrocapital, y el agua proveniente de los pozos

## 1.2. Objetivos

Con la finalidad de proporcionar una clara y precisa orientación a la investigación, se procede a enumerar una serie de objetivos que delinearán una metodología de trabajo con el fin de alcanzar, de manera efectiva, cada una de las metas propuestas.

### 1.2.1. *Objetivo General*

Establecer un sistema de manejo y control del campo de pozos subterráneos de agua de Cervecería Polar Los Cortijos, que garantice su producción sustentable.

### 1.2.2. *Objetivos Específicos*

- Establecer los factores que se deben considerar para la ubicación, diseño, construcción, y mantenimiento de los pozos de la cervecería.
- Desarrollar una herramienta que garantice la producción sustentable evaluando los parámetros de operación del campo de pozos de la cervecería.

## **CAPÍTULO II.- LA EMPRESA**

En este capítulo se presenta en orden cronológico la evolución de las Empresas Polar.

### **2.1. Reseña Histórica de Empresas Polar<sup>[12]</sup>.**

Lorenzo Mendoza Fleury, Rafael Henrique Luján, Andrés Yépez Santamaría, José Manuel Báez, Martín Benítez y Carlos García Toledo, gestan la creación de una empresa cervecera durante el año 1939.

En la parroquia de Antímano comienza a funcionar Cervecería Polar C.A., con 50 empleados, una capacidad de producción de 30 mil litros mensuales, y dos productos para un mercado altamente competitivo: cervezas Pilsen y Bock. El Acta Constitutiva de Cervecería Polar, C.A., se firma el 13 de Marzo de 1941, y se registra el 14 de marzo del mismo año.

En 1942, llega a Venezuela el maestro Carlos Roubicek quien desarrolló una fórmula “tropicalizada” adaptando la cerveza Pilsen europea, mediante la incorporación del maíz como materia prima adjunta, hasta lograr un producto adecuado al gusto del consumidor venezolano y a las condiciones climáticas locales.

En 1948 se crea Distribuidora Polar S.A., Diposa, para dar más agilidad a la venta en el área capital. La empresa matriz resulta todo un éxito, por lo cual posteriormente se fundan compañías similares en otras zonas: Cepolago (Maracaibo, 1957), Dosa (San Cristóbal, 1961), Dipolorca (Barcelona, 1972), Dipomesa (Caracas, 1973), Diposurca (Maturín, 1974), Dipocentro (Valencia, 1974), y Dipocosa (Barquisimeto, 1975).

En un tiempo relativamente corto, y estimulada por el aumento de la demanda, Polar responde a las exigencias del mercado, proyectando la creación de otras plantas cerveceras. En 1950 se inaugura Cervecería de Oriente, C.A., en Barcelona, Estado Anzoátegui, con una capacidad inicial de 500 mil litros al mes y 57 trabajadores. Un año después, esta planta es la primera en producir Maltín Polar. En 1951 entra en operación la planta Los Cortijos,

con una capacidad instalada de 500 mil litros mensuales. En 1961 comienza a operar Cervecería Modelo, C.A., en Maracaibo, Estado Zulia, con una capacidad inicial de 4 millones de litros mensuales, y en 1978, se pone en marcha Cervecería Polar del Centro, C.A., en San Joaquín, Estado Carabobo, constituyéndose en el complejo cervecero más moderno de América Latina para esa época.

Debido a la necesidad de integrar materias primas nacionales, nace en 1954, Remavenca. Esta industria, inicialmente destinada a la producción de hojuelas de maíz para la elaboración de cerveza, marca el origen de la Unidad Estratégica de Negocios de Alimentos. Adicionalmente, se funda Gibraltar C.A., para producir las cajas de cartón corrugado en las cuales se distribuía la cerveza.

En 1960, sale al mercado nacional un nuevo producto de consumo masivo, la Harina P.A.N. En 1964, con el propósito de enfrentar el reto de comercializar el nuevo producto, nace Promesa, una cadena de distribución propia a escala nacional. Como complemento, comienzan las actividades de Rotoven, encargada de fabricar los empaques de harina P.A.N. En 1967, inicia operaciones la empresa Procría, destinada a la producción y distribución de alimentos balanceados para animales aprovechando los subproductos del proceso de fabricación de las harinas precocidas y de las cervecerías. En 1969 la organización adquiere en Cumaná una pequeña fábrica procesadora de maíz pilado, la cual incorpora nueva tecnología y se convierte en Mazorca.

En 1977, nace Fundación Polar para contribuir al desarrollo social del país en las áreas de educación, cultura, salud y recreación; propiciar el desarrollo tecnológico en la agricultura, industria y uso racional del ambiente; así como apoyar y promover instituciones que tengan por finalidad principal realizar actos de beneficio social.

En 1980 se crea Fabrimonca, Fabricación y Montajes Industriales, para disminuir la dependencia de las importaciones y garantizar a las plantas cerveceras el suministro local de equipos de acero inoxidable. En 1981, para cubrir su propia demanda de producción de latas de aluminio, se incorpora Superenvases Envalic. En 1982 se construye la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Remavenca, pionera de una valiosa gestión ambiental.

Empresas Polar se inicia en el negocio del arroz en el año 1986 con la Corporación Agroindustrial Corina, en Acarigua. Cinco años después comienza a funcionar una segunda planta, Provenaca, en el estado Guárico. En 1987 Empresas Polar se incorpora a la agroindustria del trigo, a través de la empresa Mosaca, creada para procesar este cereal y fabricar pastas alimenticias. Este mismo año, la organización decide participar en el mercado de helados, a través de productos EFE. En 1988 se realiza la adquisición de Savoy Brands Internacional.

En 1990 sale al mercado nacional la primera producción de vinos, elaborados a partir de uvas frescas nacionales en Bodegas Pomar. En 1993 Empresas Polar entra al negocio de los refrescos, a través de la empresa Golden Cup.

En 1994 se construye el Centro Tecnológico, cuyas sofisticadas instalaciones contienen una moderna planta piloto, un laboratorio para el aseguramiento de la calidad y la metrología y otro que sirve como ventana a la llamada revolución mundial de la biotecnología.

En 1995 como parte del proceso de integración comercial que se consolida entre Colombia y Venezuela, se crea la filial Cervecería Polar Colombia, S.A. En 1996 Empresas Polar da un importante paso en el sector de refrescos, al asociarse con Pepsi Co. para producir y comercializar Pepsi y otras marcas de esa compañía en Venezuela. En 1997 Cervecería Polar entra a Brasil con su nueva marca Boreal y da un paso a la segmentación del mercado venezolano con el lanzamiento de las cervezas Negra y Light. Durante este año, Empresas Polar se une a importantes socios para establecer convenios operativos con PDVSA, en el marco de la Apertura Petrolera.

Sin lugar a dudas, Empresas Polar es uno de los conglomerados industriales más sólidos del sector manufacturero venezolano, dedicado esencialmente a las áreas de bebidas y alimentos. La significación de esta corporación en la economía nacional se sustenta en indicadores contundentes: generando más de 18 mil empleos directos y 150 mil indirectos.

## 2.2. Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Blancas

La planta de tratamiento de aguas blancas (PTAB) es la encargada de surtir del vital líquido a todas las áreas involucradas de alguna manera con el proceso productivo de elaboración de cerveza. Dependiendo del uso que se le dé al agua a emplear, la planta de tratamiento de aguas se subdivide en distintos sistemas, cada uno de los cuales modifican las condiciones del agua de manera que esta se ajuste perfectamente a las necesidades de las áreas en las que se vaya a emplear<sup>[1]</sup>. Estos sistemas son:

- Recepción: recibe, almacena y distribuye el agua hacia el tanque A .
- Agua Filtrada: el agua proveniente del sistema de recepción pasa por filtros de arena y carbón y luego va al tanque B; desde allí, una parte es destinada a servicios generales (tanque E) y la otra parte pasa a los tres sistemas que se nombran a continuación;
- Agua Cervecera: elimina el contenido de alcalinidad del agua necesario para la elaboración de cerveza.
- Agua Suave: elimina la dureza del agua para ser empleada en el lavado de botellas.
- Agua Desmineralizada: elimina los minerales presentes en el agua para ser empleada en las calderas generadoras de vapor.
- Agua Recuperada: recibe el agua proveniente del lavado de botellas y pasteurización, además del agua de dos pozos denominados cava de barriles y materias primas, que debido a su alta dureza se almacena en esta área (tanque C) para su posterior tratamiento.

A continuación en la figura 1 se presenta el diagrama unifilar de la planta de tratamiento de aguas blancas de Cervecería Polar Los Cortijos,

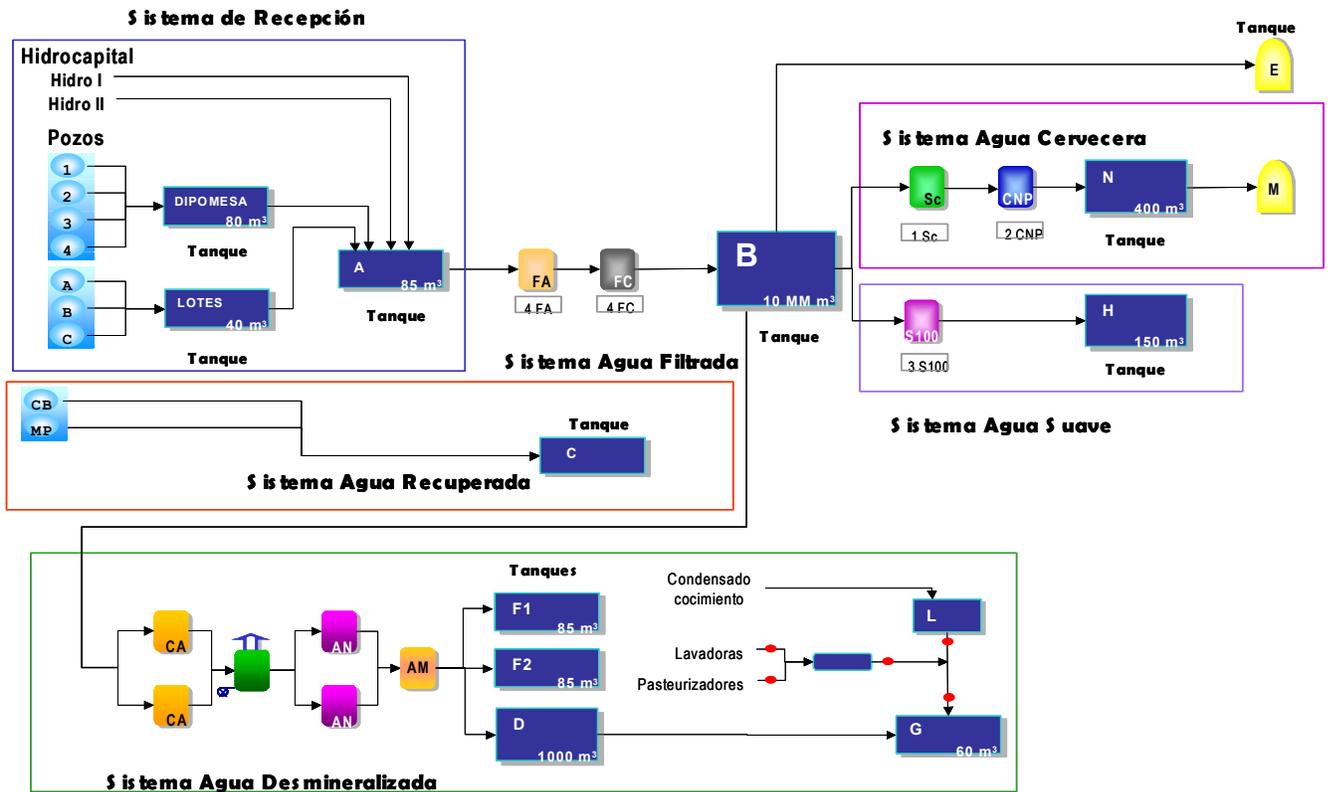


Figura 1. Diagrama de Flujo de la P.T.A.B.

Como una manera de evaluar el desempeño de la planta se calcula periódicamente el índice de consumo de aguas, que no es más que un valor utilizado para relacionar la cantidad de agua que se utiliza para elaborar un litro de cerveza. El índice general se encuentra entre 5,6 y 5,8 l de Agua / l Cerveza y se calcula empleando la siguiente ecuación:

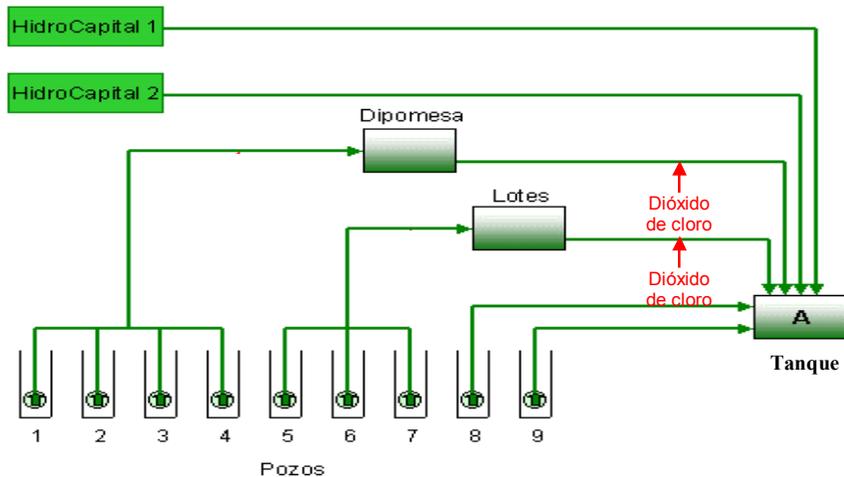
$$\text{Índice} = \frac{\text{Litros Agua Consumida}}{\text{Litros Cerveza} + \text{Malta Producidos}} \quad (I)$$

### 2.2.1. Descripción General del Sistema Actual de Abastecimiento para Uso Industrial en Cervecería Polar los Cortijos

El sistema de abastecimiento actual está constituido por el sistema de recepción y la Planta de Tratamiento de Aguas Blancas (PTAB). El sistema de recepción lo conforman:

- Dos aducciones del acueducto metropolitano denominados HIDRO I e HIDRO II, provenientes de las sectores California Norte y los Ruices, respectivamente.
- Nueve pozos subterráneos ubicados en la Distribuidora Polar Metropolitana Dipomesa (4 pozos), en los Estacionamientos de Empresas Polar, denominados Lotes, (3 pozos) y en Planta los Cortijos (2 pozos) el cual se puede ver en el anexo 1.
- Tanques de almacenamiento (Tanque Dipomesa , Tanque Lotes y Tanque A).
- Sistemas de desinfección con  $\text{ClO}_2$ .

Su distribución se representa en el siguiente esquema:



**Figura 2.** Esquema del Sistema de Recepción

Fuente: Manual Cervecerero de Empresas Polar

### ***2.2.2. Descripción de la Operación del Sistema de Recepción***

Los requerimientos de agua del proceso productivo de Cervecería Polar Los Cortijos oscila entre 190 y 300 m<sup>3</sup>/h, dependiendo de la programación de la producción la cual es regulada en el tanque B. Éste es el encargado de almacenar y distribuir el agua de los pozos a los diferentes sistemas dependiendo de su uso: agua filtrada, cervecera, suave y desmineralizada.

El suministro total por parte de Hidrocapital (HIDRO I + HIDRO II) es durante toda la semana, exceptuando los días Lunes y Jueves, en los cuales hay racionamiento de agua y se utiliza el 100% de los pozos. En los días que se cuenta con el flujo normal de Hidrocapital se utiliza el 40% del requerimiento total de la producción y el 60% restante es suministrado por los pozos.

Los pozos cuentan con sensores que permiten un seguimiento continuo de los niveles, caudales, arranques y paradas de los mismos, estos datos son observados y almacenados como históricos a través de un programa de monitoreo llamado FIX, manejado desde la sala de control de PTAB.

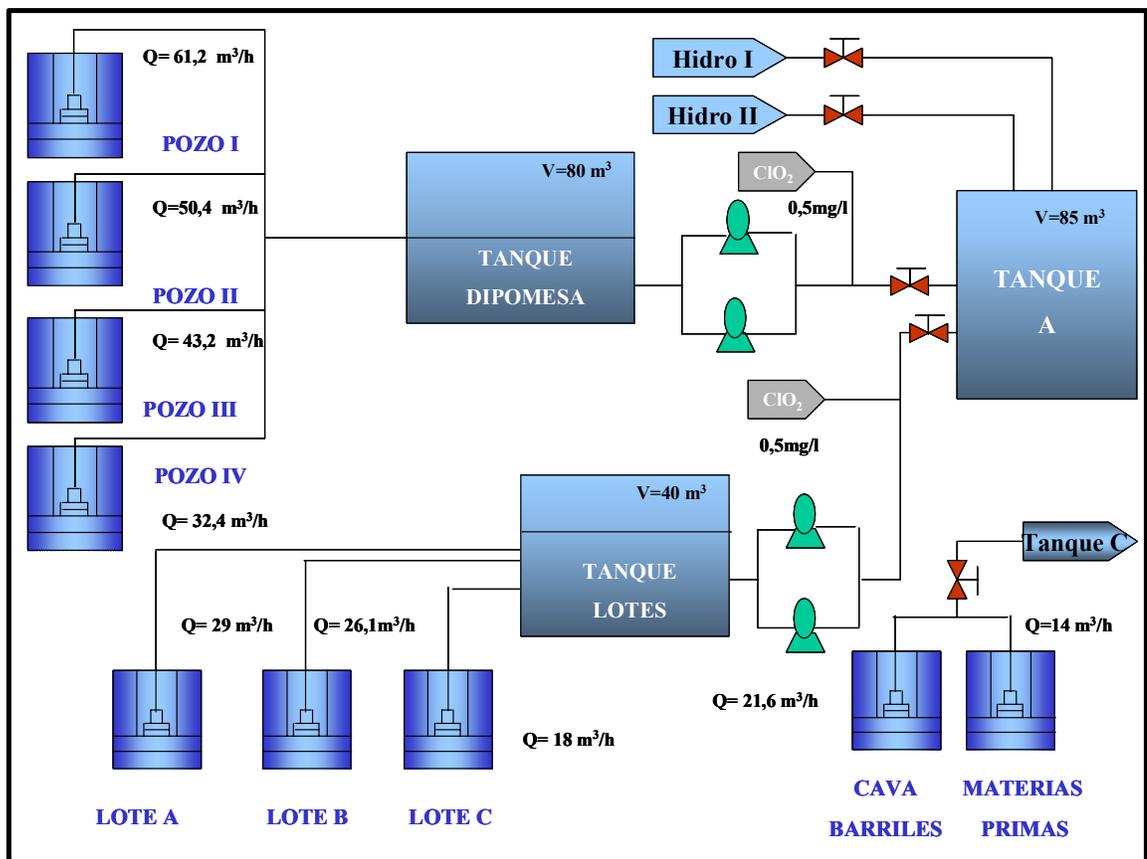
El desarrollo de las operaciones dentro del sistema de recepción está gobernado por la entrada y salida de agua del tanque A, el cual tiene un volumen de 85 m<sup>3</sup> y recibe el agua de las aducciones de Hidrocapital más el agua del tanque de Dipomesa y del tanque de los Lotes, los cuales tienen un volumen de 80 m<sup>3</sup> y 40 m<sup>3</sup>, respectivamente. Esto significa que el tanque A actúa como un tanque de igualación para almacenar el agua y enviarla al tanque B.

El agua que llega al tanque de Dipomesa proviene de 4 pozos ubicados en esta zona los cuales tienen caudales de 17 l/s , 14 l/s, 12 l/s y 9 l/s respectivamente. El agua que llega al tanque de Lotes proviene de 3 pozos los cuales tienen caudales de 8 l/s ,6 l/s y 5 l/s respectivamente.

Actualmente el agua de los 2 pozos ubicados dentro de la Planta los Cortijos debido a su alta dureza está dirigida hacia el tanque C, que corresponde al agua recuperada con caudales de entre 4 y 6 l/s .

Cada una de las líneas que llevan el agua al tanque A cuentan con una dosificación de  $\text{ClO}_2$  de 0,5 mg/l.

En el diagrama de flujo presentado en la figura 3, se resume las principales características de la operación del sistema de recepción.



**Figura 3.** Características del Sistema de Recepción

### **2.2.3. Uso y Manejo del Agua en la Cervecería** <sup>[12]</sup>

Es importante destacar que en la Cervecería Polar, los procesos cerveceros se separan en tres grandes áreas las cuales tienen como elemento principal el agua. Estos procesos son: Elaboración I, el cual está conformado por los procesos de tratamiento de la cebada malteada y de las hojuelas de maíz para producir el mosto; Elaboración II, se refiere al tratamiento del mosto a través de la fermentación y maduración; es decir de la cerveza, y por último el área de Envasado en la que se coloca la cerveza terminada en su presentación final. A continuación se describen los procesos involucrados en estas áreas y el uso del agua en los mismos.

**Elaboración I:** comienza desde la recepción de las materias primas hasta la preparación del mosto. Los procesos involucrados en esta área son: extracción y almacenamiento de materias primas, extracción y limpieza, molienda, mezcla y maceración, filtración del mosto y cocción.

**Elaboración II:** finalizados los procesos de cocción y enfriamiento del mosto, este es conducido al área de Elaboración II, donde la cerveza pasa por tres procesos fundamentales: fermentación, maduración y filtración.

Tanto en el área de Elaboración I como en la II el agua juega un papel muy importante, ya que está involucrada directamente en la limpieza de la materia prima, mezcla y maceración, y en la cocción del mosto. Entre las dos áreas de Elaboración, se maneja un caudal entre 40 y 60 m<sup>3</sup>/h diariamente para llevar a cabo los procesos involucrados; exceptuando los días de mantenimiento en los cuales no se realizan cocimientos, sólo limpieza de equipos, y el caudal manejado es de 20 m<sup>3</sup>/h.

En estudios anteriores se realizó un Plan de Filtración<sup>[7]</sup> que permite calcular el caudal requerido por ésta área empleando la siguiente relación matemática :

$$Q = \frac{Cc * 540 + Cm * 500}{P} * 0,1 * Ic \quad \text{(II)}$$

donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/h)

Cc: número de cocimientos de Cerveza (Pilsen, Solera, Ice y Light) por día

Cm: número de cocimientos de Malta (Maltín)

Ic: índice de agua Cervecera , constante =1,8 (1 agua / 1 cerveza + malta producidos)

P: período de producción (h)

540 y 500 constituyen el volumen en hectolitros de mosto de cerveza y malta respectivamente, necesarios para realizar los cocimientos.

**Envasado:** a esta área llega la cerveza como producto terminado y es colocada en su presentación final, botellas , latas y barriles. Los diferentes equipos por donde pasan los envases , se denomina tren de envasado y los procesos involucrados son: Lavado de botellas, Llenado y Pasteurización. Siendo el lavado y pasteurizado los procesos que utilizan mayor cantidad de agua. El área de envasado maneja un caudal diario que oscila entre 130 y 200 m<sup>3</sup>/h.

De igual manera, para determinar el caudal de agua requerido por el área de envasado se emplea la relación matemática determinada para el Plan de Filtración<sup>[7]</sup>:

$$Q = \frac{\text{Producción}}{P} * I_f \quad \text{(III)}$$

donde:

Producción :Litros de Cerveza + Litros de Malta; en un lapso de tiempo

I<sub>f</sub>: índice de agua Filtrada, constante = 3 (1 agua / 1 cerveza + malta producidos)

P : período de producción (h).

Estos cálculos son primordiales para planificar el agua del sistema de recepción, para el cual se desarrollará una herramienta que optimice su operación.

## CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan definiciones necesarias para comprender el área de las aguas subterráneas y de los pozos profundos.

### 3.1. Origen y Formación del Agua Subterránea<sup>[10]</sup>

En la tierra sólo existen dos fuentes de agua a la disposición del hombre: las de la superficie, que comprenden lagos, ríos, áreas de drenaje que envían agua hacia los embalses y los procedimientos que permiten captar y retener agua de lluvia; y las subterráneas que incluyen a los pozos, manantiales y galerías horizontales. El agua de superficie, puede convertirse en agua subterránea, pudiendo a su vez emerger de nuevo como agua superficial (manantial) en un tercer sitio. Esto es posible por las interconexiones hidráulicas que existen en el subsuelo.

#### 3.1.1. *Aguas Subterráneas*

El término agua subterránea no se refiere a un agua cualquiera que se encuentre por debajo de la superficie del terreno. Es el agua que se encuentra en las rocas, sean consolidadas o no. El agua que se infiltra en el suelo se denomina agua subsuperficial pero no toda se convierte en agua subterránea. Tres son los hechos fundamentales que ocurren con esta agua:

- Una primera fracción es retenida en la franja intermedia del suelo. Su función es la de hidratar la tierra, y eventualmente es devuelta a la atmósfera por evaporación.
- Una segunda parte, es absorbida por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo a la atmósfera a través del proceso de transpiración.
- Por último, el agua que se ha infiltrado en el suelo, desciende por la fuerza de gravedad hasta alcanzar el nivel de la zona de saturación que constituye el depósito de agua subterránea ó acuífero y que abastece de la misma a los pozos.

### 3.1.2. *Acuífero*

Un Acuífero es un estrato natural permeable y poroso que tiene capacidad de almacenar agua y permitir su movimiento en todas las direcciones dentro de dicho estrato. Las aguas almacenadas en los acuíferos tienen su origen en la infiltración o recarga de aguas superficiales, provenientes de lluvias, ríos, lagos y lagunas. Los acuíferos se clasifican en: Freáticos y Artesianos.

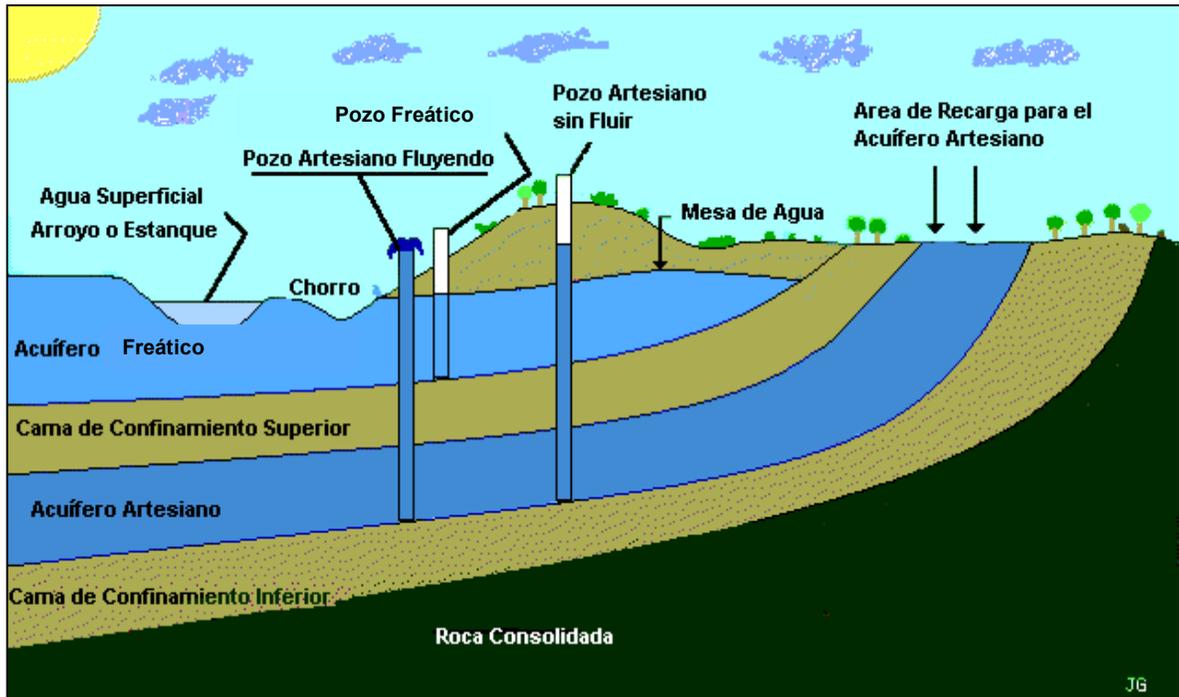
#### Acuífero Freático:

Es aquel acuífero donde su límite superior queda definido por el nivel de agua sometido a presión atmosférica (nivel freático), tal como si estuviese contenida en recipiente abierto. Este tipo de acuífero se puede denominar *acuífero no confinado* o acuífero libre. En cualquier nivel dentro del acuífero freático o libre, la presión hidrostática es equivalente al peso de la columna de agua y se expresa en metros de agua. La superficie freática no es una superficie estacionaria, sino que fluctúa periódicamente, elevándose cuando más agua penetra hasta la zona de saturación (lluvia) y descendiendo en períodos de sequía.

#### Acuífero Artesiano:

Es aquel que se encuentra confinado, es decir, que yace entre estratos impermeables que se encuentran por encima y por debajo del mismo. Este tipo de acuífero se puede denominar *acuífero confinado* o agua subterránea confinada. Debido a la presencia del estrato superior, el agua del acuífero no se encuentra expuesta a la presión atmosférica, como se observa en la figura 4. Así pues, el agua se ubica dentro de los poros del acuífero a una presión mayor a la atmosférica.

Cuando se perfora un pozo a través de un estrato confinante superior y se penetra dentro del acuífero artesiano, el agua asciende por dentro del pozo hasta alcanzar algún nivel cuya elevación se halla por encima del techo del acuífero. El nivel del agua dentro del pozo equivale a la presión artesiana del acuífero.



**Figura 4.** Tipos de Acuífero

Fuente: <http://pasture.ecn.purdue.edu/>

### 3.2. Propiedades Físicas, Químicas y Microbiológicas del Agua<sup>[6,13]</sup>

La mayoría de las aguas subterráneas no contienen materia en suspensión y prácticamente están libres de bacterias. Por lo general es clara, sin color y presenta una temperatura relativamente constante. Estas características contrastan con las del agua superficial; la cual es normalmente turbia y contiene considerable cantidad de bacterias. Por esta razón, el agua subterránea resulta ser de una calidad sanitaria superior.

#### 3.2.1. *Propiedades Físicas*

Físicamente, el agua del subsuelo es generalmente clara, incolora, con poca o ninguna partícula en suspensión y tiene una temperatura relativamente constante, la excepción son las aguas del subsuelo conectadas hidráulicamente con aguas superficiales cercanas a través de aberturas, fisuras e intersticios de algunas gravas donde pueden ser notables los sabores y los olores de la vegetación en descomposición. Las propiedades

físicas más comunes en el agua son: color , olor , sabor y turbidez. En este caso particular se evaluará la turbidez generada en los pozos existentes producto de su operación.

### *Turbidez*

La turbidez es causada por la presencia de partículas coloidales en suspensión que absorben el paso de luz a través del agua, lo que confiere al agua una apariencia opaca y le resta atractivo, además de alto riesgo de contaminación microbiana que podría estar asociado. Las partículas coloidales suspendidas pueden ser el origen orgánico y/o inorgánico y pueden estar asociadas a compuestos como el hierro, manganeso, zinc, arcillas y limos entre otros. Todos aquellos valores de turbidez que estén por encima de la norma, 1 UNT (unidades nefelométricas de turbidez) son considerados como fugas de turbidez.

### **3.2.2. Propiedades Químicas**

La calidad química del agua del subsuelo está también considerablemente influenciada por su movimiento relativamente lento a través del suelo. Su grado relativamente lento de percolación a través de la tierra proporciona el tiempo suficiente para que muchos de los minerales que forman la corteza terrestre se incorporen a la solución. Las siguientes propiedades y sustancias químicas del agua subterránea se encuentran dentro de las más importantes y son de interés para los propietarios de pozos; pH, alcalinidad, dureza, hierro, manganeso, sílice, nitratos, cloruros, sulfatos, dióxido de carbono, sólidos totales y conductividad. En esta investigación la *conductividad eléctrica* del agua juega un papel muy importante en la ubicación del agua en los estratos.

### *Conductividad*

La conductividad eléctrica es la habilidad de una determinada sustancia para conducir la corriente eléctrica. Es justamente lo opuesto de la propiedad denominada resistividad, la cual se encarga de impedir el flujo de corriente eléctrica indicando porosidad y permeabilidad.

En la Cervecería Polar Los Cortijos, tanto los análisis físico-químicos como los microbiológicos son realizados en el Laboratorio Central ubicado en la planta, estos se le realizan a los pozos existentes una vez al mes y a los nuevos antes de ponerlos en servicio. El agua de los pozos debe cumplir con las normas sanitarias especificadas en la Gaceta N° 36.395 exigidas por el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social.

Las características físicas y químicas que se evalúan normalmente en el agua subterránea son las que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Regulaciones para aguas de consumo

<b>COMPONENTE O CARACTERISTICA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CONCENTRACION MAXIMA PERMITIDA</b>
Turbidez	UNT	5
Color	UCV	15
Olor y Sabor	-	Acceptables para la mayoría de los consumidores
pH	-	6,5 - 8,5
Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	500
Dureza total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	500
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
Hierro	mg/l	0,3
Manganeso	mg/l	0,1
Sílice	mg/l	50
Nitrato	mg/l N	10
Sulfato	mg/l	400
Cloruro	mg/l	250

Fuente: Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Gaceta Oficial N° 36.395, febrero 1998.

### **3.2.3. Propiedades Microbiológicas**

Además de los análisis físicos y químicos, se debe realizar un análisis microbiológico en cual se determine la presencia de organismos o bacterias . Estas se

especifica en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Gaceta Oficial N° 36.395, febrero 1998, según el siguiente artículo:

Artículo 9:

- a. Ninguna muestra de 100 ml, deberá indicar la presencia de organismos coliformes termoresistentes (coliformes fecales)
- b. En ningún caso deberá detectarse organismos coliformes totales en dos muestras consecutivas de 100ml, provenientes del mismo sitio.

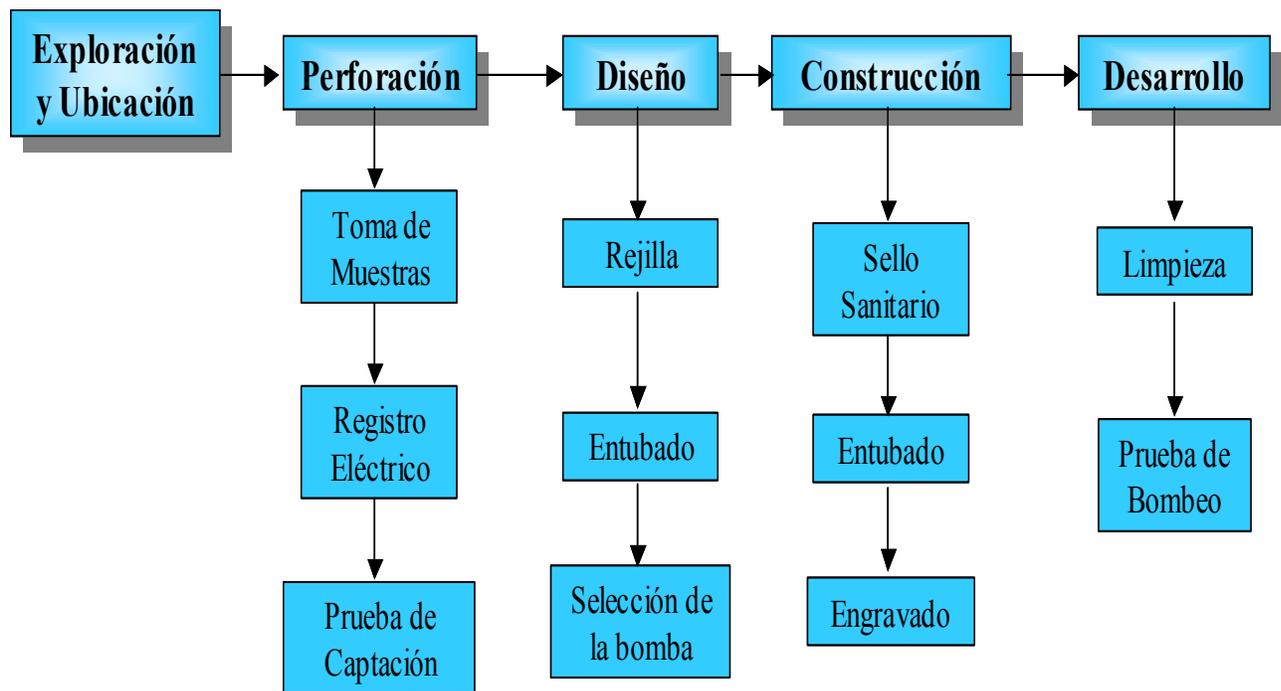
Sin embargo, Cervecería Polar Los Cortijos establece las siguientes regulaciones para el agua proveniente de pozos.

**Tabla 2.** Regulaciones microbiológicas para aguas de consumo

<b>BACTERIA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>NORMA</b>
Coliformes Totales	UFC/250ml	100
Coliformes Fecales	UFC/250ml	20

### 3.3. Etapas para la Construcción de Pozos de Agua Subterránea

En esta sección se presenta una revisión bibliográfica secuencial de los pasos a seguir en la construcción de pozos de agua subterránea y los criterios empleados por la compañía contratada para la realización de las perforaciones. La figura 5 muestra un esquema de las actividades involucradas en la construcción de pozos que serán desarrolladas a continuación.



**Figura 5.** Diagrama de bloque para la construcción de pozos

### 3.3.1. Ubicación

Encontrar la ubicación correcta para un pozo que produce un buen abastecimiento de agua constante durante todo el año, suele ser trabajo para expertos en esta área, como son los hidrólogos, geólogos, geofísicos y en ocasiones ingenieros sanitarios. Es de suma importancia consultar con estos expertos antes de llevar a cabo una exploración de este tipo, para así obtener información que permita reducir el número de perforaciones de inspección, orientar su localización y en todo caso fundamentar racionalmente la estimación de un presupuesto. Previamente a los estudios de exploración de inspección; la ubicación del sitio adecuado para la construcción de un nuevo pozo se basa en dos herramientas fundamentales, las cuales son: inventario de pozos existentes y los indicios en la superficie.

### *Inventario de pozos existentes<sup>[11]</sup>*

Para ubicar el lugar de construcción preciso para un pozo subterráneo de agua, primero hay que contar con un *inventario de los pozos* existentes en la zona seleccionada; así como también con los *registros de perforación y diseño* de los mismos.

El inventario de pozos puede suministrar la siguiente información:

- Pozos en funcionamiento se puede conocer su profundidad y caudal de producción, así como también el comportamiento del pozo durante las diferentes épocas del año (sequía, lluvia) de igual forma se conocerá la calidad del agua producida.
- Pozos fuera de funcionamiento se podrán conocer las causas por las que dejó de funcionar, que bien pueden ser deficiencia en el flujo o caudal de producción, indicando la presencia de un acuífero pobre o si los problemas son de calidad del agua (exceso de minerales o contaminación).

### *Indicios en la superficie*

En este caso el hidrólogo está preparado para visitar la zona a explorar y efectuar una observación más cercana de cualquier indicio superficial del agua subterránea. Se examinan con mayor detalle las características superficiales que se habían notado en previas revisiones de planos topográficos y fotos aéreas. Entre las características que podrían proporcionar indicios valiosos se encuentran los accidentes de terreno, la estructura de la red hidrográfica, los manantiales, los lagos y vegetación. Es probable que el agua del suelo aparezca con mayor cantidad en los valles que en las colinas.

### *Distancias para la ubicación de pozos<sup>[13]</sup>*

Los sitios seleccionados para la ubicación de pozos de agua subterráneas, cuyas aguas se pretendan utilizar para consumo humano deberán cumplir con las siguientes distancias mínimas exigidas por la norma. (Normas Sanitarias para la Ubicación, Construcción, Protección y Mantenimientos de Pozos Perforados Destinados al Abastecimiento de Agua Potable. Gaceta Oficial N° 36.298, septiembre 1997), como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Distancias mínimas exigidas para la ubicación de nuevos pozos

<b>ZONA</b>	<b>DISTANCIA (m)</b>
Plantas industriales	30
Calles, linderos, sótanos de edificaciones	10
Pozos Existentes	> 50
Granjas avícolas, porcinas, establos y caballerizas	100

Estas distancias se deben cumplir para evitar extraer agua de acuíferos contaminados y para evitar la interferencia entre pozos.

### **3.3.2. Exploración**<sup>[3,6,10]</sup>

Todos los métodos empleados de exploración tienen un objetivo común, determinar las características geoelectricas del subsuelo y a partir de ellas diferenciar los principales intervalos arenosos con posibilidades acuíferas, intervalos arcillosos no acuíferos y basamento rocoso no acuífero, de la evaluación de estos parámetros se define la zona más favorable para la perforación de nuevos pozos.

Existen diversos métodos para llevar a cabo este objetivo los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 4.** Tabla comparativa de los métodos exploratorios

<b>TIPO DE ZONA</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>PRINCIPIO</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>Zonas Vírgenes ó Poco Pobladas</b>	<i>Sondeos por Refracción Sísmica</i>	Medición de ondas de choque producidas por explosivos	Exploración desde la superficie.	Sólo se realiza en campos abiertos. Generalmente empleada en zonas petroleras.
	<i>Estudio de Resistividad</i>	Medición de corriente eléctrica de las formaciones	Permite conocer la presencia de agua en los estratos sin necesidad de perforar.	Los resultados se ven afectados por tuberías y materiales conductores encontrados en la zona a explorar.
<b>Zonas Industrializadas</b>	<i>Perforación Exploratoria</i>	Perforación del terreno	Observación de los materiales encontrados bajo la superficie.	Requiere maquinaria pesada y se perfora el terreno a profundidades desde 50 hasta 200 metros.

Fuente: “Desarrollo de Aguas Subterráneas”. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela.

El método utilizado para exploración de nuevos pozos fue la perforación exploratoria.

#### *Perforación Exploratoria*

En una perforación exploratoria, las muestras de material geológico que se obtengan, se examinan y analizan para determinar el carácter, la profundidad y el espesor de los diversos estratos. Entonces, las guías más valiosas para una exploración son las rocas; es por ello que el método más seguro para conocer las características de las formaciones que yacen por debajo de la superficie del terreno es la perforación exploratoria o de prueba, la cual sigue los pasos de la perforación de un pozo pero a menor escala. En las perforaciones exploratorias se busca primordialmente obtener lo siguiente: identificación y localización del sitio de cada perforación, un registro de los estratos

penetrados, las muestras representativas de los estratos que se han penetrado, la profundidad del nivel estático del agua y las muestras de agua de los acuíferos potenciales.

### 3.3.3. Perforación<sup>[6,10]</sup>

Luego de culminado el proceso de exploración, donde se ubicó el lugar de la futura construcción de un pozo, el paso siguiente es realizar la perforación .

Actualmente, existen varios métodos para perforar pozos de agua. Éstos se relacionan con los diseños del pozo y los requisitos particulares de tubería y rejillas. En la siguiente tabla se ofrece una breve explicación de estas técnicas de acuerdo a la formación a perforar.

**Tabla 5.** Métodos de Perforación

TIPO DE FORMACIÓN	MÉTODO DE PERFORACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Consolidadas</b>	<i>Percusión Hidráulica</i>	Se obtienen muestras compactas de las formaciones.	Pozos de uso doméstico de menor diámetro. Su uso queda restringido a suelos arcillosos.
	<i>Rotación hidráulica</i>	La perforación es más rápida. Utiliza diferentes tamaños de brocas dependiendo del material. El muestreo resulta más fácil.	Necesita un control adecuado del lodo de perforación.
<b>No Consolidadas (suaves)</b>	<i>Percusión con herramienta y cable</i>	Se logra un muestreo exacto del material perforado. Se necesita menos agua para la operación que en los métodos hidráulicos.	Ocurren derrumbes del pozo con frecuencia por lo que se debe ir entubando a medida que se va perforando. La perforación es muy lenta.
	<i>A hinca</i>	No necesita máquina de perforación. Es económico y rápido.	Sólo para suelos arcillosos. No se obtienen muestras de los estratos.

Fuente: "El Agua Subterránea y los Pozos " Publicaciones Johnson Screens.

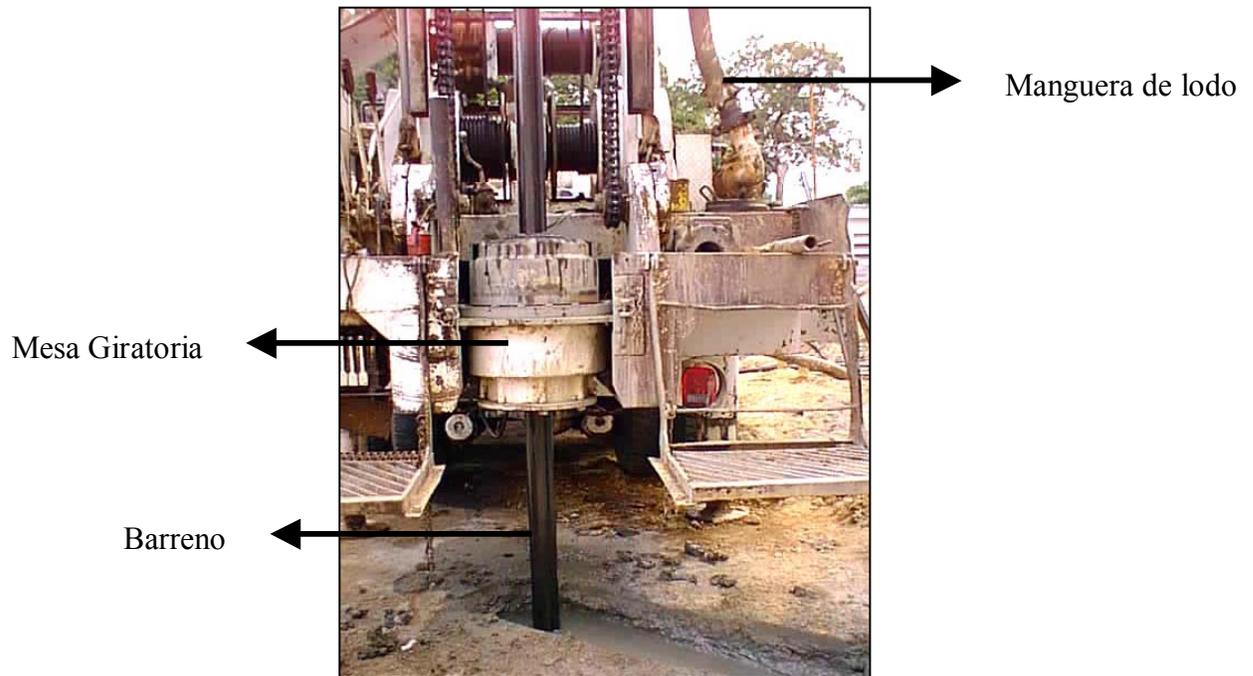
Debido al tipo de estrato que se encuentra en la zona donde está ubicada la Cervecería Polar Los Cortijos, la compañía perforadora empleó para la perforación de nuevos pozos, el Método de Rotación Hidráulica, el cual es el más usado y consiste en perforar un agujero mediante la acción rotatoria de una broca ó mecha con carga controlada y remover los fragmentos que se producen con un fluido que continuamente se hace circular, llamado lodo de perforación cuya composición es agua con aditivos (bentonita) para proporcionar viscosidad y estabilidad al pozo. Este se inyecta en forma descendente por la barra y a través de la herramienta de corte, el que se hace ascender por el pozo para arrastrar los fragmentos que se separan y eliminan en la superficie.

Las partes básicas de una máquina de perforación rotatoria son una torre de perforación y un elevador; una mesa giratoria operada mecánicamente que hace girar el vástago del barreno con su broca; una bomba para impulsar el lodo de perforación a través de una sección de manguera y una unión giratoria entre el vástago y la punta de la broca y una unidad motriz (motor). El método de rotación hidráulica se realiza con diferentes tamaños de brocas dependiendo de la dureza del terreno.

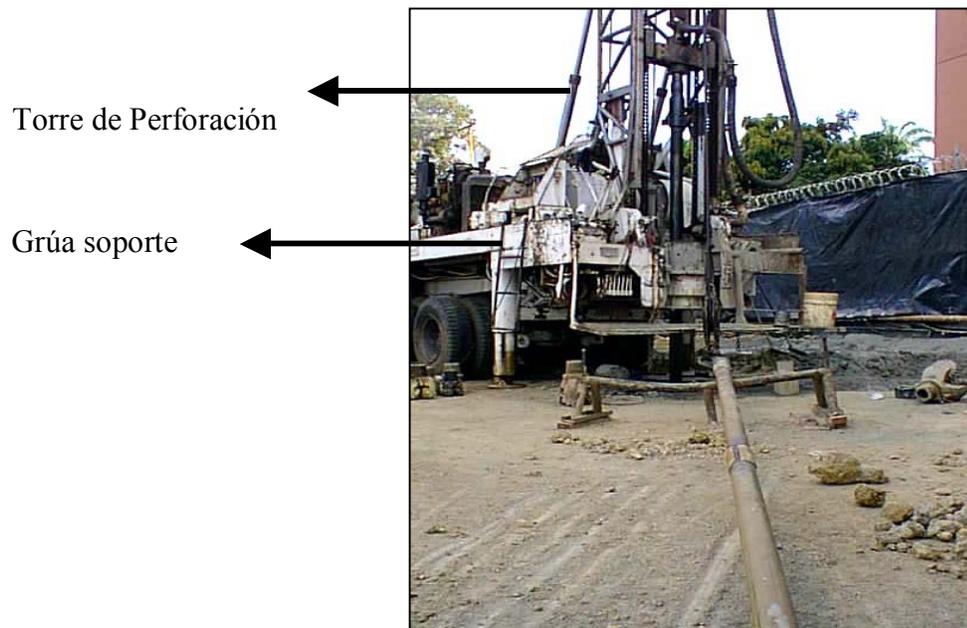
Las siguientes figuras dan una muestra de los tipos de brocas y las máquinas de perforación empleadas en la perforación de pozos de Cervecería Polar Los Cortijos



**Figura 6.** Brocas o mechas de Perforación empleadas en Cervecería Polar Los Cortijos



**Figura 7.** Sección móvil de la Máquina de Perforación



**Figura 8.** Sección Fija de la Máquina de Perforación  
*Registro Eléctrico y toma de muestras*<sup>[3,10]</sup>

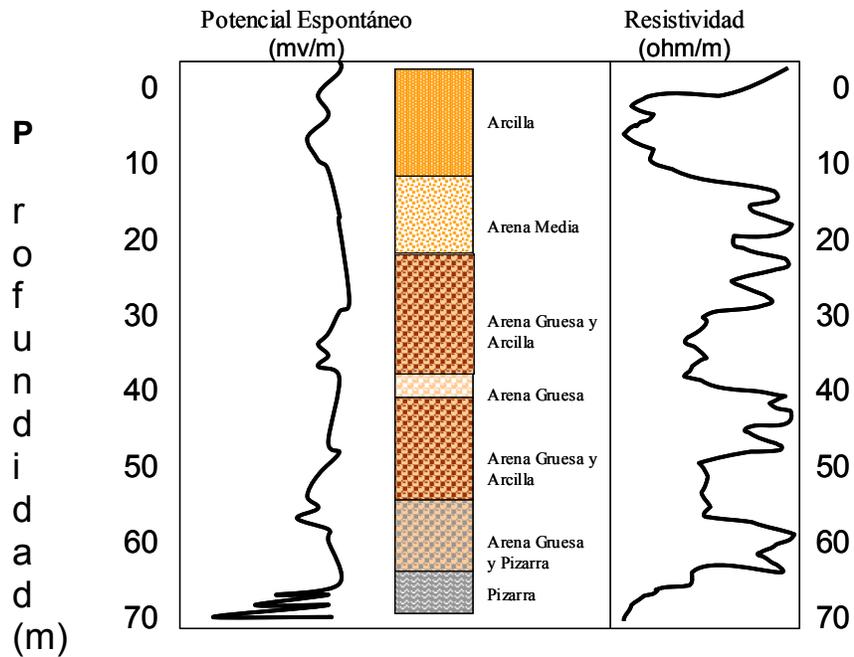
Durante las perforaciones se toman muestras cada metro del material perforado y al finalizar la perforación se realiza el sondeo eléctrico trazando las siguientes curvas o registros eléctricos:

➤ Resistividad: la resistividad eléctrica de una sustancia es su capacidad de impedir el flujo de corriente eléctrica a través de si misma, ésta determina la porosidad y saturación de los estratos, esto es; los estratos con mayor porosidad presentan menor resistencia al paso de la corriente eléctrica, reportando picos pronunciados hacia la derecha, la unidad utilizada en los registros es ohm/m.

➤ Potencial Espontáneo: es un registro de la diferencia de potencial eléctrico de un electrodo móvil en el pozo y el potencial eléctrico de un electrodo fijo en la superficie en función de la profundidad, su funcionalidad radica en determinar la permeabilidad de los estratos (mV). Esta curvas no son pronunciadas como las de resistividad, por el contrario, al encontrarse un estrato poroso (por ejemplo: arena gruesa), esta reporta una ligera estabilidad en la línea graficada.

➤ Rayos Gamma: es una medición de la radioactividad natural de las formaciones. Este refleja el contenido de arcillas y lutitas debido a que en ellas se tienden a concentrar elementos radioactivos, este método se utiliza para confirmar la presencia de arcillas en los estratos donde se sospechaba por los métodos explicados anteriormente, y esta gráfica reporta picos pronunciados hacia la derecha, y las unidades por la que se rigen es en conteo por segundo(cps).

Las muestras tomadas son para realizar el registro litológico del pozo que consiste en anotar las características de los estratos en función de la profundidad. Luego se comparan las muestras con los registro eléctricos para ubicar los estratos permeables y diseñar el entubado. En la figura 9 se observa cómo se relaciona la litología del pozo con las curvas trazadas.



**Figura 9.** Comparación de muestras con el registro eléctrico.

#### *Prueba de Captación*

Dicha prueba se realiza para estimar el caudal promedio que se puede obtener del pozo. El criterio que determina si el pozo es buen productor, se basa en la magnitud de caudal obtenido durante dicha prueba. El procedimiento consiste en inyectar aire al pozo, de tal manera que la diferencia de presión extraiga el agua. Esto se realiza durante 40 minutos para esperar que el caudal se estabilice y poder realizar la medición. La relación entre caudal que se obtendría con el equipo de bombeo es 2.5 a 3 veces al alcanzado con el compresor, entonces si el caudal obtenido es mayor a 5 l/s, el pozo se considera buen productor con un caudal entre 10 y 15 l/s.

#### **3.3.4. Diseño**

El diseño de un pozo de agua implica escoger los factores dimensionales apropiados para la estructura de éste y de los materiales que se van a utilizar en su construcción. Para esta etapa resulta de utilidad considerar al pozo como una estructura que consiste en dos

elementos principales como se muestra en la siguiente figura: equipo de bombeo y suministros y el elemento de captación del pozo o rejillas<sup>[11]</sup>.

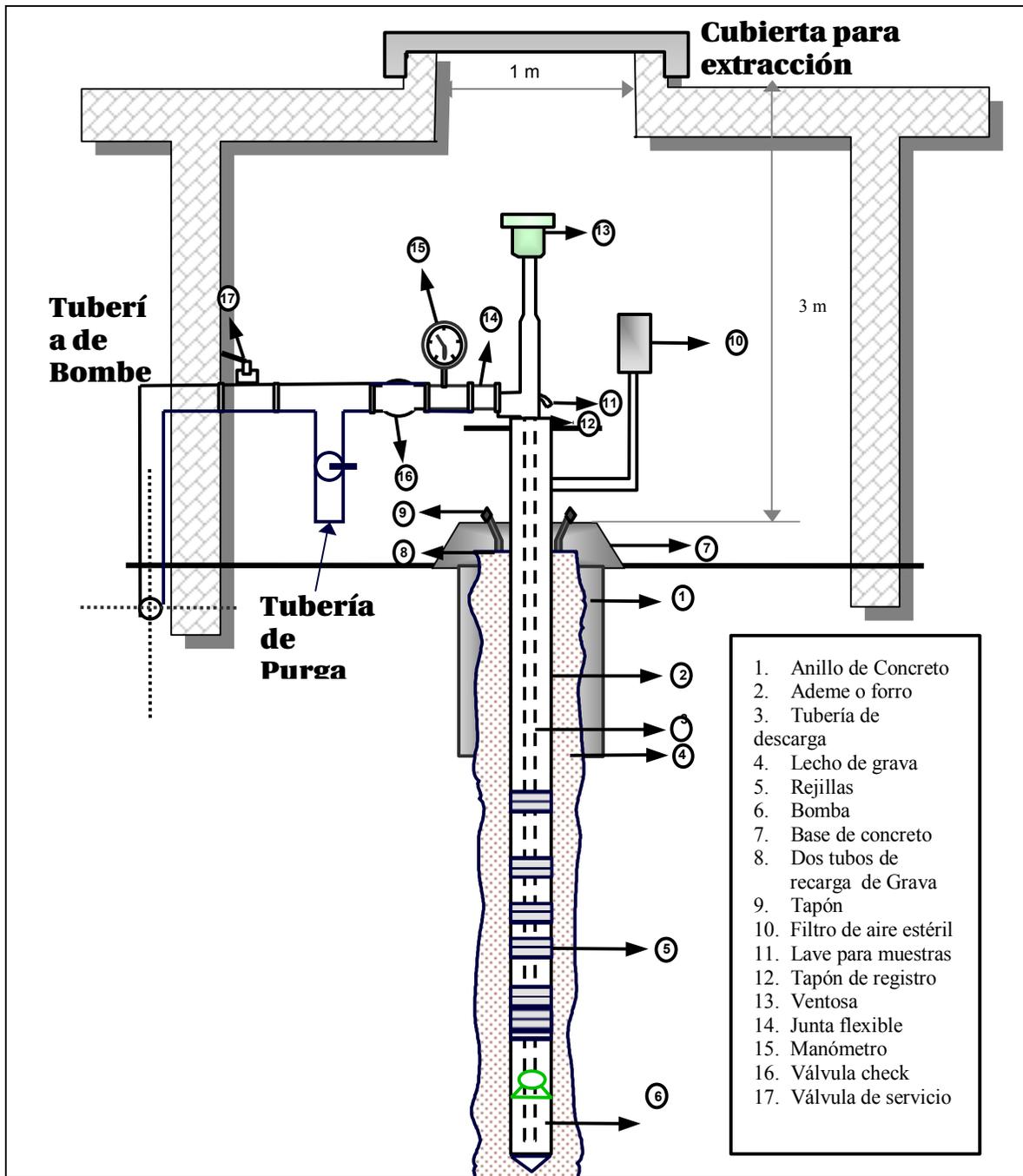


Figura 10. Perfil de construcción de un pozo

### 3.3.4.1. Diámetro del pozo<sup>[10]</sup>

El diámetro del pozo debe escogerse de modo que satisfaga dos requisitos:

1. El ademe, forro o tubo ciego del pozo debe ser lo suficientemente amplio que permita acomodar la bomba con tolerancia adecuada para su instalación y eficiente funcionamiento.
2. El diámetro del intervalo de captación del pozo debe ser tal que garantice una buena eficiencia hidráulica del mismo.

Al escogerse el tamaño del ademe, el factor que gobierna es el tamaño de la bomba que va a necesitarse para la descarga deseada o potencial del pozo. El diámetro del ademe debería ser de dos números mayor que el diámetro nominal de la bomba. El diámetro empleado en los pozos de Cervecería Polar los Cortijos es de 10 pulg. ya que la mayoría de los pozos producen un promedio de 10 l/s, para mayores caudales mayores diámetros.

En la tabla 6 mostrada a continuación se representan los tamaños de ademe que se recomiendan para diversos rangos de rendimiento o caudal de bombeo.

**Tabla 6.** Diámetros recomendados en pozos

<b>CAUDAL (l/s)</b>	<b>DIAMETRO DE LA BOMBA (pulg)</b>	<b>DIAMETRO ÓPTIMO DEL ADEME (pulg)</b>	<b>DIAMETRO MÍNIMO DEL ADEME (pulg)</b>
Menor que 7	4	6 DI	5 DI
5 a 12	5	8 DI	6 DI
10 a 25	6	10 DI	8 DI
22 a 42	8	12 DI	10 DI
38 a 57	10	14 DE	12 DI
53 a 83	12	16 DE	14 DE
75 a 113	14	20 DE	16 DE
100 a 200	16	24 DE	20 DE

DI: Diámetro interno

DE: Diámetro externo.

Fuente: “El Agua Subterránea y los Pozos” Publicaciones Johnson Screens.

El tipo de tubo ciego empleado en los pozos de Cervecería Polar Los Cortijos, es la tubería lisa sin costuras de acero al carbono.

#### **3.3.4.2. Profundidad del pozo<sup>[10]</sup>**

La profundidad que se espera darle al pozo se determina por lo general mediante los datos de pozos existentes (si los hay) ó mediante registros litológicos o eléctricos realizados en el período de exploración. Habitualmente el pozo se termina en el fondo del acuífero, debido a dos razones:

1. Se utiliza mayor espesor del acuífero como intervalo de captación del pozo.
2. Puede obtenerse mayor abatimiento disponible, permitiendo un mayor caudal de descarga.

Una condición que hace no seguir las reglas antes mencionadas, es encontrar agua de mala calidad en la parte inferior del acuífero. En caso tal, el pozo deberá completarse hasta una profundidad que excluya esa agua y obtener así la mejor calidad que se encuentre disponible, esto no debería suceder si se siguen las normas de distancia para pozos mencionadas en la sección 3.2.

Además hay que tener en cuenta la ubicación de la bomba, ésta no debe ir colocada en las rejillas porque traería problemas de arrastre de sólidos, entonces, si no hay lugar entre las rejillas y el tubo ciego es recomendable perforar 3 ó 4 metros después la roca madre ó esquisto.

#### **3.3.4.3. Tipos y selección de rejillas<sup>[9,10]</sup>**

El factor que más influye en el funcionamiento de un pozo, es el diseño y construcción de la rejilla. Una rejilla adecuadamente diseñada combina un alto porcentaje del área abierta para el flujo relativamente libre dentro del pozo, con potencia suficiente para resistir las fuerzas a las que pueda estar sujeta la rejilla durante su instalación en el pozo y después de ella. Las aberturas de la rejilla, preferiblemente deberán tener una forma que facilite la entrada al flujo dentro del pozo, y a la vez dificulte a las partículas pequeñas

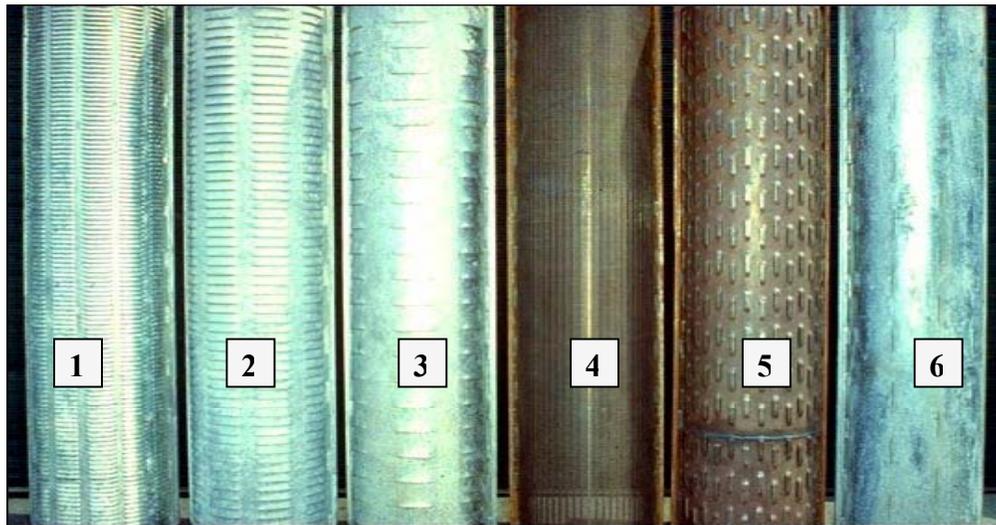
alojarse permanente en ella restringiendo en sí el paso del flujo. A continuación se mencionan varios tipos de rejillas de pozo .

**Tabla 7.** Tipos de Rejillas

<b>TIPO DE REJILLA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJA</b>
Ranura Continua	Debido al diseño de su abertura el material fino no la puede obstruir. Brinda más área de captación por metro, que otros tipos.	Se fabrican en secciones de 3 metros de largo. Pueden romperse al momento de su instalación.
Tipo Persiana	Se fabrican hasta 12 metros de largo.	Porcentaje de área abierta reducido. No se puede usar en pozos con filtro de grava.
Ranuras Fresadas	Posee mayor resistencia la colapso.	Usada en pozos petroleros. Presenta mayor obstrucción en las ranuras debido al espesor de sus paredes.
Tubo Ranurado	Se usa como sustituto improvisado de rejillas.	El porcentaje de área abierta es bajo. Las aberturas son inexactas y varían de tamaño. No se recomienda para materiales finos. No es resistente a la corrosión.

Fuente: “El Agua Subterránea y los Pozos” Publicaciones Johnson Screens.

Las rejillas empleadas para la captación de agua subterránea de los pozos de Cervecería Polar los Cortijos, son del tipo “Ranura Continua”, ya que son las que mejor se adaptan a los requerimientos.



**Figura 11.** Tipos de Rejillas: 1,2 y 3 Rejillas Tipo Persiana, 4.Rejilla de Ranura Continua, 5.Tubo Ranurado, 6.Rejilla Fresada

Fuente: <http://www.roscoemoss.com/español>

### **Abertura de la Rejilla**

Un conocimiento del método de selección de las aberturas de la rejilla requiere ante todo un conocimiento del proceso y los objetivos del desarrollo del pozo. El objeto del desarrollo de un pozo es retirar el material más fino en la mayor cantidad posible de una zona alrededor del pozo, la cual tiene lugar en la rejilla y fuera del revestimiento, con el fin mejorar la capacidad específica y la eficiencia del mismo. Por lo tanto, el tamaño limitante del material que se retira, determina el tamaño de las aberturas de las ranuras de la rejilla. Para determinar el tamaño limitante, primero debe llevarse a cabo un análisis del tamaño de la partícula de la capa acuífera, determinando a través de tamices el porcentaje de material retenido en las mallas de éstos.

La rejilla debe tener la mayor apertura posible que sea compatible con la retención del paquete de filtro en un pozo con envoltorio de grava o con el material de la formación en los pozos sin estos envoltorios.

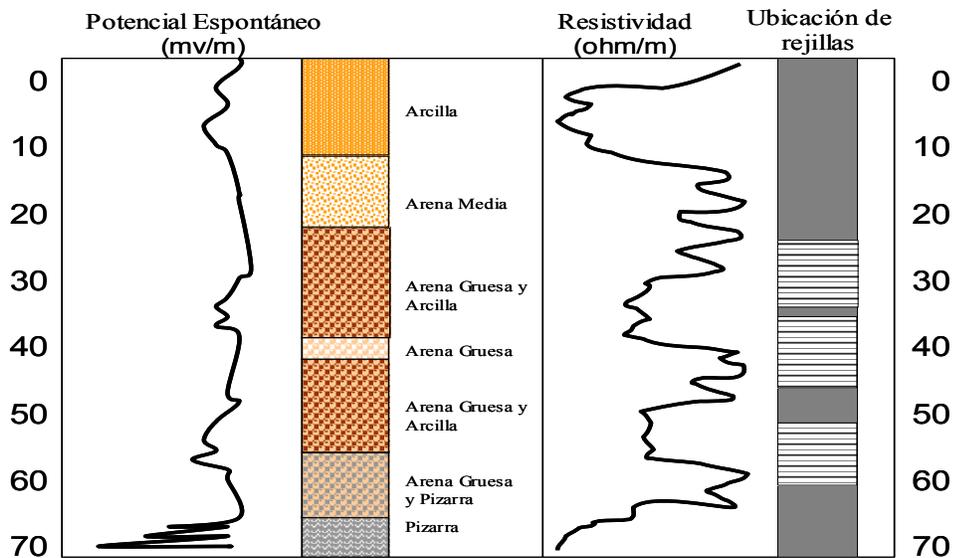
**Tabla 8.** Aberturas de rejillas de ranura continua disponibles en el mercado

N° Abertura	10	20	40	60
Abertura (pulg)	0.010	0.020	0.040	0.060
Abertura (mm)	0.25	0.50	1.00	1.50

**Longitud y ubicación de la rejilla.**

La longitud de la rejilla va a depender directamente del estudio litológico y del registro eléctrico dado por la perforación de exploración. En aquellos estratos en donde la resistividad sea mayor, debe ir colocada una rejilla, para aumentar el área de captación de agua.

Con respecto a la longitud, esta va a depender de la profundidad que tengan los estratos más permeables. En el caso de rejillas de ranura continua que son fabricadas en segmentos de 3 metros, debe ajustarse a los estratos, utilizando múltiplos de tres como se observa en la figura 12.



**Figura 12.** Ubicación de las rejillas en función del registro eléctrico.

## Selección del material de la rejilla

Con respecto al material de la rejilla, hay tres aspectos que gobiernan a la hora de seleccionar el material:

- ✓ Contenido mineral del agua a explotar
- ✓ Presencia de jaleas bacterianas
- ✓ Resistencia del material

El contenido mineral del agua subterránea se obtiene mediante un análisis químico. Este estudio revela si el agua del subsuelo es corrosiva o incrustante, lo que variará la selección del material; los materiales más utilizados y recomendados por los fabricantes, se muestran a continuación.

**Tabla 9.** Material recomendado para rejillas de pozos y sus aplicaciones

METAL ALEACIÓN	COMPOSICIÓN NOMINAL	APLICACIONES SUGERIDAS
MONEL	70 % níquel 30 % cobre	Alto Cloruro. Oxígeno disuelto.
ACERO INOXIDABLE	74% acero 18 % cromo 8% níquel	Sulfuro de hidrógeno. Oxígeno disuelto. Dióxido de carbono. Bacteria ferrosa.
EVERDUR	96% cobre 3% sílice 1% manganeso	Alta dureza total. Alto cloruro. Alto contenido de hierro. Resistente a los tratamientos con ácido
BRONCE ROJO AL SILICIO	83% cobre 16% zinc 1% sílice	Usado para las mismas condiciones del EVERDUR, pero inferior y no tan resistente.
HIERRO ARMCO	99,84 % hierro puro (doblemente galvanizado)	No es resistente a la corrosión. Es utilizado en agua neutra.
ACERO	99,35 / 99,72% hierro 0,09 / 0,15 % carbono 0,20 / 0,50% manganeso (doble galvanización)	Se recomienda en aguas no corrosivas, ni incrustantes

Fuente: "Desarrollo de Aguas Subterráneas". Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela.

El acero inoxidable es especialmente resistente a los efectos dañinos del sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y agua salobre. Las rejillas de acero inoxidable permiten la remoción de incrustaciones usando ácidos, un método no recomendado para otros tipos de acero.

El acero se recomienda cuando tanto las consideraciones económicas como la resistencia y eficiencia son requisitos importantes. En los pozos de la Cervecería el material utilizado es el acero compuesto de carbono.

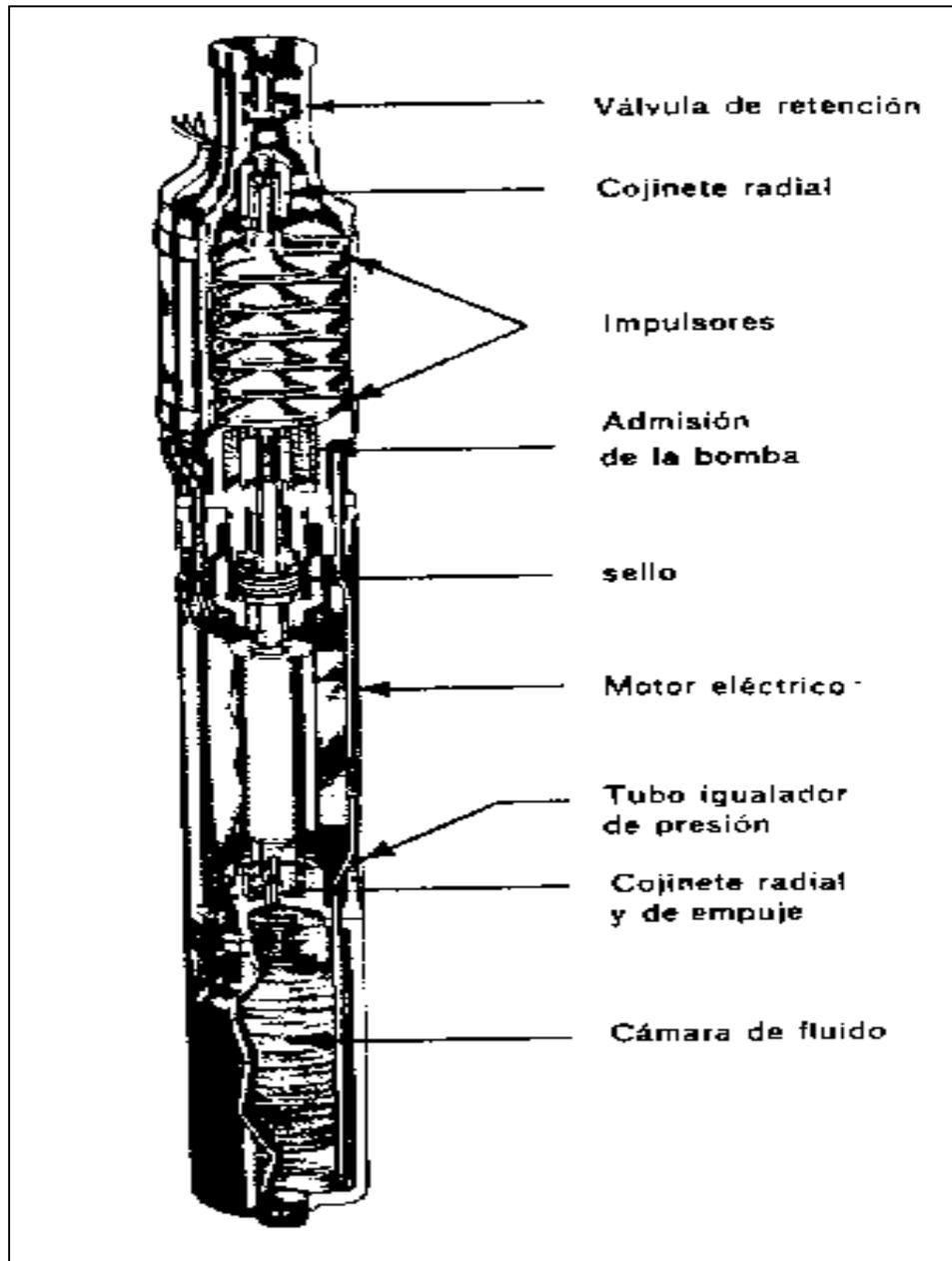
#### **3.3.4.5. Selección de la Bomba<sup>[6]</sup>**

Una vez completado el pozo, deberá instalarse algún tipo de bomba para elevar el agua y llevarla hasta el punto de uso. En lo que a pozos subterráneos se refiere existen dos formas de clasificar las bombas: de pozo somero y de pozo profundo.

Las primeras se colocan por encima del pozo y toma el agua de este mediante aspiración. Las segundas se instalan dentro del ademe del pozo y por lo general con la campana sumergida por debajo del nivel de agua. Estas últimas son las más utilizadas en pozos para fines industriales, ya que manejan caudales de hasta 100 l/s. Por lo general las bombas de pozo profundo son centrífugas sumergibles verticales como se puede apreciar en la figura 13.

La selección adecuada de una bomba para su instalación en un pozo comprende la consideración de varios factores. El primer factor que debe considerarse debe ser, necesariamente, el rendimiento de un pozo. Pese a lo evidente que parece, no es posible extraer más agua de un pozo que la cantidad determinada por su rendimiento máximo, por lo tanto es riesgoso escoger una bomba cuya capacidad de descarga sea más grande que lo que rendirá el pozo.

Los pozos de Cervecería Polar Los Cortijos cuentan con bombas sumergibles verticales, y para su selección se utiliza un programa de cálculo en EXCEL, que determina la potencia requerida mostrado en el anexo 2.



**Figura 13.** Bomba sumergible vertical  
Fuente: "Manual de Pozos Pequeños" Editorial Limusa-Noriega.

### **3.3.5. Construcción**

Una vez concluidas las labores de perforación y diseño, el paso siguiente es unir los resultados de las secciones anteriores y construir el pozo. El término construcción incluye la construcción de la protección sanitaria, colocar el entubado previamente diseñado y colocar el filtro grava .

#### **3.3.5.1. Protección sanitaria**

Debido a que el agujero perforado es de mayor diámetro que el ademe a utilizar, es necesario cerrar este espacio vacío para evitar la contaminación del pozo con agua superficial y también para evitar posibles derrumbes como se puede ver en la figura 10.

Según la Gaceta Oficial N° 36.298 de septiembre de 1997 de las normas sanitarias para la protección de pozos perforados destinados al abastecimiento de agua potable, en los artículos 36 y 37 se ordena:

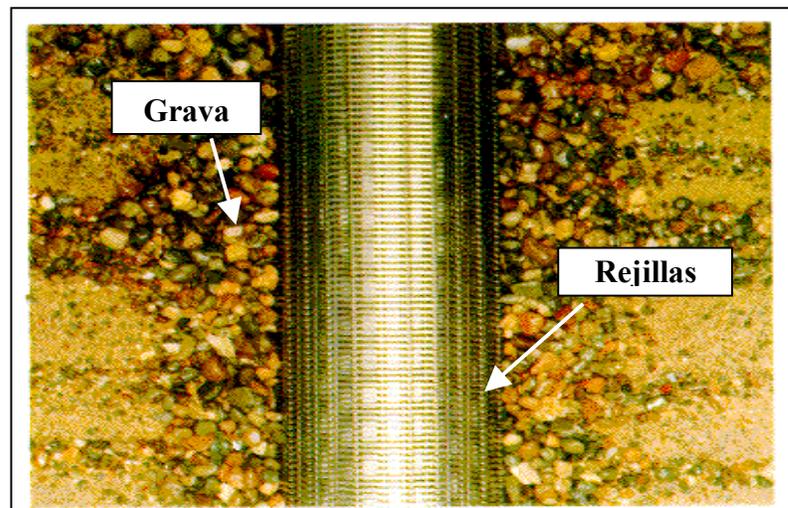
1. Esta construcción sellada deberá llevarse hasta alguna formación subsuperficial impermeable que esté confinado al acuífero, o hasta una profundidad segura por debajo del nivel dinámico o de bombeo previsto.
2. El material del sello sanitario deberá ser concreto.
3. Las dimensiones del sellado varían de acuerdo a las condiciones del terreno.

Aquellos pozos construidos en terrenos arenosos deberán tener un sello sanitario de 6 m de profundidad como mínimo y los elaborados en suelos arcillosos, deberán disponer de 8m. Con respecto al espesor, este podrá oscilar entre 5 y 15 cm.

### 3.3.5.2. Filtro de grava<sup>[3]</sup>

El pozo construido con un filtro de grava artificial, difiere del que se ha desarrollado de forma natural, ya que la zona periférica del pozo se ha hecho más permeable para facilitar el acceso del agua hacia el pozo. El filtro de grava también es útil para fijar el ademe al terreno durante la instalación.

La importancia de los filtros de grava radica en que actúan como un ente filtrante, evitando así la acumulación de sólidos dentro del pozo y preservando la vida útil de las rejillas.



**Figura 14.** Filtro de grava

Fuente: Empresas Polar

#### **Selección del material**

La elección de un empaque de grava y tamaño de partícula adecuados es una de las etapas más importantes en el diseño de pozos de agua. Aunque existen diversos criterios y métodos matemáticos para calcular la granulometría de empaque de grava, a continuación se explicará la técnica más común de selección en el campo.

Una vez conocido los análisis granulométricos de cada uno de los diferentes estratos que constituyen el acuífero, se determinará cual o cuales son los estratos que presentan las

partículas más finas, entonces dependiendo de esto se procede a seleccionar el tamaño de la grava, ya que la grava es realmente el medio filtrante, si la granulometría de los estratos es muy fina, se utilizará un empaque de grava fino para evitar el paso de partículas, y a medida que aumenta el grano del estrato se podría cambiar el tamaño de la grava, recalcando que en los pozos de Cervecería Polar los Cortijos se utilizan empaques de grava uniformes, esto es, una sola granulometría de empaque a todo lo largo del pozo sin tomar en cuenta el cambio de granulometría de los estratos, solo se selecciona la grava para contener los más finos y con esto se evita el paso de las partículas de mayor tamaño, y la rejilla se construye solo en función de la grava, para evitar que esta entre al entubado.

Las gravas pueden ser de origen marino ó de río; se recomienda la grava de río por su uniformidad y esfericidad, y en el mercado existen cinco tipos distintos según su tamaño, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 10.**Tamaño de Gravas

<b>GRAVAS</b>	<b>ASTM</b>	<b>mm</b>
Nº.1	11/4'' – 1''	31.75 - 25.40
Nº.2	1'' – 5/8''	25.40 - 15.87
Nº.3	5/8'' – 3/8''	15.87 - 9.53
Nº.4	3/8'' – 3/16''	9.53 - 4.76
Nº.5	3/16'' – 10''	4.76 - 2.00

Fuente: “Desarrollo de Aguas Subterráneas”. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela.

### **Espesor del empaque de grava**

Usualmente, los espesores de empaques de grava son de 8 a 20 centímetros. Esto no es absolutamente necesario, ya que las pruebas han demostrado que uno o dos centímetros retendrían y controlarían satisfactoriamente las arenas de la formación, independientemente de la velocidad del agua que tiende a trasladar las partículas a través del empaque. En la

práctica no es posible construir un empaque con un espesor tan pequeño que logre rodear la rejilla completamente. Por consiguiente, para asegurarse que la capa de grava rodeará completamente la rejilla, un espesor de 8 cm se ha escogido como el mínimo que debe usarse en la práctica. El espesor del empaque de grava empleado en los pozos de la Cervecería es de 5 pulgadas (13 cm).

### 3.4. Hidráulica de Pozos<sup>[10]</sup>.

Un pozo es una estructura hidráulica que debidamente diseñada y construida, permite efectuar la extracción económica de agua de una formación acuífera. Que tan adecuadamente se logra este propósito, es algo que depende de los siguientes puntos:

- ✓ Una aplicación inteligente de los principios de la hidráulica en el análisis del pozo y del comportamiento del acuífero.
- ✓ La destreza de perforar y construir pozos, lo que permite tomar ventaja de las condiciones geológicas.
- ✓ Una selección de los materiales que asegure una larga duración de la estructura.

Algunas definiciones importantes en la hidráulica de los pozos son:

*Abatimiento de un pozo (m)*: Significa el descenso que experimenta el nivel de agua del pozo entre el nivel estático y el nivel dinámico. Este representa la relación de carga, en metros de agua, que produce el flujo desde el acuífero hacia el pozo y el caudal que se está extrayendo.

*Nivel estático (m)*: Es el nivel a que el agua permanece dentro de un pozo cuando no se está extrayendo agua del acuífero por bombeo o por descarga libre. Su distancia se expresa contando los metros desde la superficie.

*Nivel de Bombeo o nivel dinámico (m)*: Este es el nivel a que se encuentra el agua dentro del pozo conforme avanza el bombeo.

### **3.4.1. Pruebas de Bombeo**

El objetivo principal de las pruebas de bombeo es determinar la cantidad máxima de agua que puede extraerse para mantener un equilibrio con la capacidad de recuperación o respuesta del acuífero, así como fijar los niveles estáticos y de bombeo. El agua se extrae en cantidades que van creciendo dentro de determinados intervalos de tiempo hasta que se llega al punto en que el descenso en el pozo permanece constante; en este punto, la cantidad de agua que fluye es igual a la cantidad de agua que se extrae.

Las pruebas de bombeo deben durar como mínimo 72 horas, para dar tiempo a que el pozo se estabilice. Una vez determinadas las condiciones de operación del pozo, debe seguirse extrayendo agua durante algún tiempo, 4 semanas como mínimo, para tener la seguridad de que no está agotando a través del pozo algún depósito subterráneo.

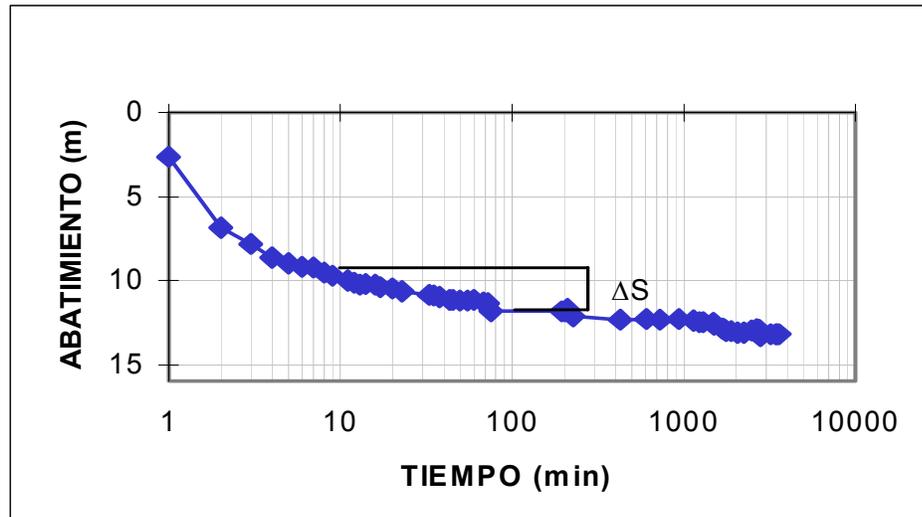
Con cada incremento de la cantidad extraída durante las pruebas de bombeo, el agua puede presentar al principio un aspecto turbio, conteniendo arena en suspensión. De esta forma se elimina el exceso de arena, imprescindible para la limpieza y desarrollo de toda nueva instalación de pozo. La experiencia aconseja extraer durante algún tiempo una cantidad de agua superior en un 20 % a la prevista para el funcionamiento definitivo.

El agua extraída durante la prueba de bombeo debe desviarse de modo que resulte imposible su infiltración en el terreno del pozo. Durante la prueba se anotan constantemente el descenso y la cantidad extraída, detallando la hora exacta de cada medición. Finalizada la prueba, debe medirse el tiempo que tarda en recuperarse el nivel de agua inicial. La velocidad de ascenso del nivel permite sacar conclusiones acerca del rendimiento de la corriente subterránea.

Con los datos obtenidos durante las pruebas de bombeo se realizan las siguientes operaciones:

1. Calcular el abatimiento para cada medición del bombeo; es decir, restar el nivel estático menos el nivel de bombeo, para cada dato de nivel medido, luego se obtiene el valor promedio necesario para el cálculo de la Capacidad Específica.

2. Luego de tener el abatimiento calculado, se gráfica el tiempo desde el inicio del bombeo, en escala logarítmica, versus el abatimiento en coordenadas geométricas.



**Figura 15.** Gráfico de una prueba de bombeo

3. Con el gráfico anterior se podrá visualizar si el pozo se llegó a estabilizar y de esta manera fijar los niveles estáticos y de bombeo.

4. Adicionalmente, con la curva anterior, se realizan los cálculos de Transmisividad y Capacidad Específica que se explican a continuación.

### **Transmisividad**

El *Coefficiente de Transmisividad*, de un acuífero, indica la cantidad de agua que fluye en un día a través de una franja vertical acuífera cuya anchura es igual a la unidad.

Los valores del coeficiente de transmisividad varían desde un poco menos de 12 hasta más de 120 m<sup>2</sup>/día. Un acuífero, cuya transmisividad sea menor de 12 m<sup>2</sup>/día puede únicamente suministrar agua para usos domésticos o similares. Cuando la transmisividad es del orden de 120 m<sup>2</sup>/día o mayor, el rendimiento será adecuado a propósitos industriales, municipales o de riego.

El coeficiente de transmisividad se calcula a partir del caudal de bombeo y de la pendiente de la recta de tiempo abatimiento, utilizando para ello la siguiente relación:

$$T = 0,183 Q/\Delta s \quad (\text{IV})$$

en la cual:

T: coeficiente de transmisividad ( $\text{m}^2/\text{día}$ ).

Q : descarga del pozo de bombeo ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).

$\Delta s$ : pendiente de la recta, que se expresa como la diferencia de abatimiento entre 10 y 100 minutos en la escala logarítmica (un ciclo logarítmico).

El coeficiente de transmisividad es especialmente importante ya que define las características hidráulicas de la formación acuífera. El coeficiente de transmisividad indica cuánta agua se mueve a través de la formación. Si en un acuífero particular se puede determinar este coeficiente se podrán efectuar predicciones de gran significación. Algunas de éstas son:

- ✓ Capacidad específica de pozos de diferentes tamaños.
- ✓ Abatimiento en el acuífero, a diversas distancias del pozo de bombeo.
- ✓ El abatimiento en un pozo en cualquier tiempo después de haber comenzado el bombeo.

### **Capacidad Específica**

La *capacidad específica* de un pozo es el caudal por unidad de abatimiento, usualmente expresada por día

La capacidad específica, usualmente varía con la duración del tiempo de bombeo; si el tiempo de bombeo aumenta, la capacidad específica disminuye.

Para el cálculo de la capacidad específica se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = Q/s \quad (V)$$

donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/día)

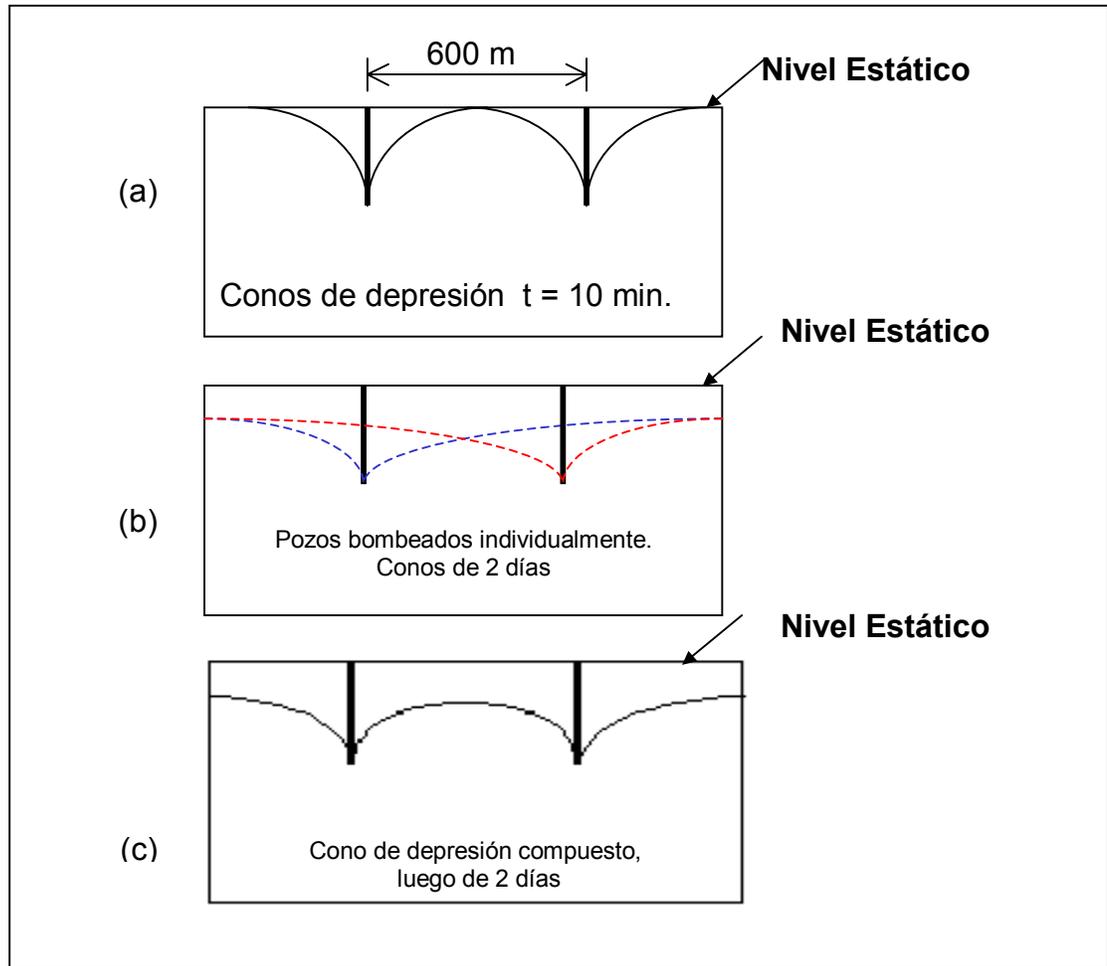
s: abatimiento (m)

C: capacidad específica (m<sup>3</sup>/día /m)

### **3.4.2. Pruebas de Interferencia<sup>[4,10]</sup>**

Cuando la distancia entre los pozos es menor que la anchura de extracción, y éstos se encuentran sobre la misma línea de agua subterránea, se presentan fenómenos de influencia mutua o interferencia.

Para obtener una idea clara de interferencia y de lo que ésta significa en un campo de pozos de bombeo, cuyos conos de interferencia se solapan entre sí, debe estudiarse cuidadosamente la figura 16 que se presenta a continuación. En la parte (a), se muestran los perfiles de dos pozos ubicados a 600 m uno del otro, y que han sido bombeados a un caudal de 31,5 l/s durante 10 min. Obsérvese que al final de los diez minutos los conos de depresión aun no se han encontrado. En la parte (b), se muestra la extensión alcanzada por los conos de depresión luego de dos días de bombeo continuo. Si cualquiera de los dos pozos hubiese sido bombeado aisladamente, entonces los conos de depresión aparecerían tal como se muestra mediante la línea punteada. Sin embargo, cuando ambos pozos se bombean, el resultado neto sería como se aprecia en la parte (c), y que en realidad viene a ser la suma de los abatimientos producidos en cualquier parte de la zona de influencia, por el efecto combinado de los pozos.



**Figura 16.** Manifestación de la interferencia entre dos pozos  
Fuente: “El Agua Subterránea y los Pozos“ Publicaciones Johnson Screens.

El efecto de “interferencia” entre un campo de pozos, trae como consecuencia:

- ✓ Disminución en el nivel de bombeo
- ✓ Disminución en la producción del pozo, y
- ✓ Recuperación del nivel estático en un mayor periodo de tiempo.

### 3.5. Indicadores Operacionales de Pozos de Aguas Subterráneas

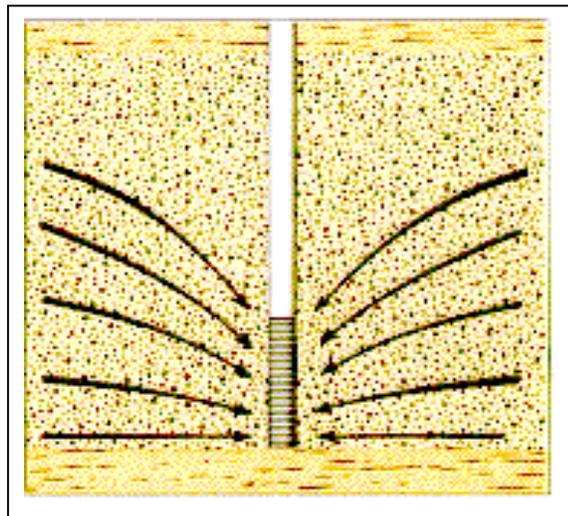
A continuación se presentan los problemas más comunes que afectan la capacidad operacional de los pozos, así como sus causas.

#### 3.5.1. *Turbidez*

Cuando el agua subterránea presenta más de 5 unidades nefelométricas (U.N.T.), puede haber indicios de:

#### **Ubicación de la bomba o cabezal de succión en una rejilla<sup>[11]</sup>**

No es recomendable ubicar las bombas sumergibles a la misma altura que un juego de rejillas; debido a que se aumenta la presión y la velocidad del flujo en este tramo, y a su vez se acelera el paso de material sólido junto con el agua bombeada como se puede apreciar en la siguiente figura.

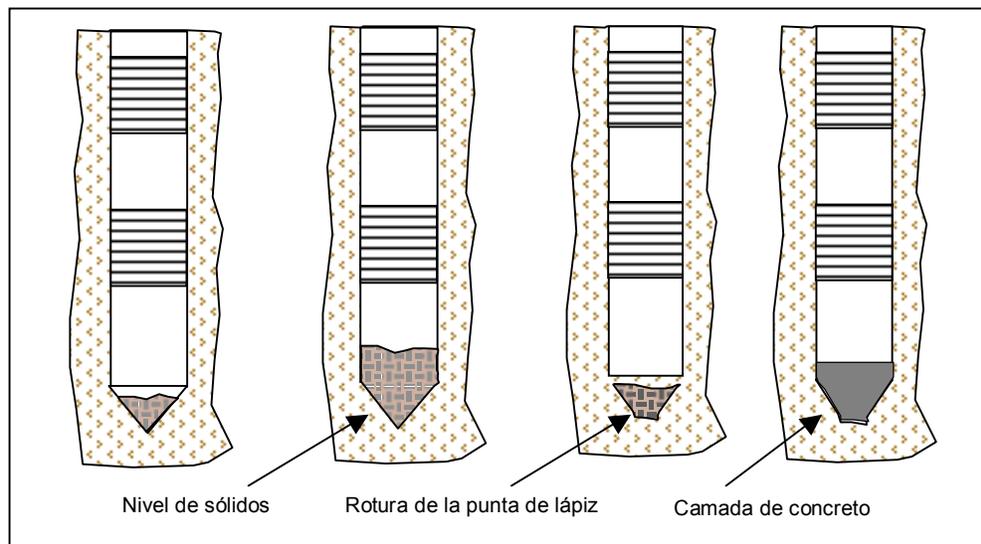


**Figura 17.** Efectos de una bomba ubicada en rejilla

## Abertura del final del ademe o punta de lápiz<sup>[11]</sup>

La abertura del final del ademe o punta de lápiz, ocurre en pozos que tienen muchos años en funcionamiento. La punta de lápiz, tiene como función principal, ser el depósito de todo el material sólido que ingresa al pozo por succión de la bomba. Con el transcurrir del tiempo, ésta se va llenando, y ocurren dos hechos importantes:

- ✓ El nivel de sólidos aumenta, y estos son succionados por la bomba aumentando la turbidez .
- ✓ El peso de los sólidos hace que la punta se abra hacia el exterior, permitiendo el libre paso de sólidos al cuerpo del pozo como se muestra en la figura 18.



**Figura 18.** Acumulación de sólidos al final del lápiz

La forma más útil y económica que se ha conseguido para solventar este problema, es la colocación de una camada de concreto que sella la punta y así evita el paso de sólidos.

## **Inestabilidad de Bombeo**

Este factor se presenta debido a las numerosas paradas y arranques que efectúan los equipos de bombeo, cuando los pozos son operados con sensores de encendido automático sin llevar un control adecuado, esto trae como consecuencia el arrastre de sólidos, que produce aumento en la turbidez que afecta la calidad de las aguas.

## **Rotura de rejilla<sup>[10]</sup>**

No es un hecho corriente que las rejillas de un pozo se rompan o agrieten. Por lo general esto ocurre cuando el pozo tiene mucho tiempo de construido y no se le ha realizado el mantenimiento preventivo necesario.

La causa principal por la que ocurren las roturas en las rejillas es *la corrosión* la cual se define como una actividad química sobre los materiales ejercida por agentes externos, lo que causa que el material sea carcomido o destruido.

La corrosión más conocida entre las que afectan a las rejillas es la pérdida uniforme del metal con perforaciones localizadas ocasionalmente. Con este tipo de corrosión las aberturas de las ranuras de las rejillas pueden llegar a ser varias veces más grande que el ancho original. Esto trae como resultado que la arena o la grava entren junto con el agua que está siendo bombeada, y que por la fricción del paso de estos materiales la rejilla se rompa.

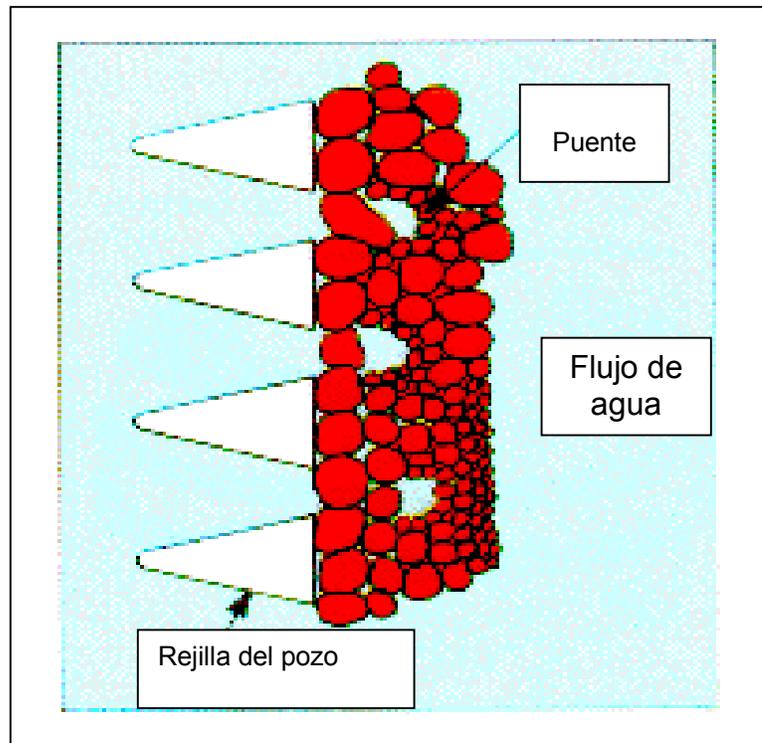
### **3.5.2. *Disminución de la capacidad productora de un pozo.***

Muchos son los factores que se pueden atribuir a la merma en la capacidad de productora de un pozo, a continuación se nombran los más comunes.

## **Formación de caminos preferenciales en el filtro de grava<sup>[10]</sup>**

La formación de *caminos o puentes en la grava* es uno de los factores más importantes a la hora de decidir realizar un mantenimiento preventivo. Estas formaciones

consisten en una acumulación de las partículas grandes de la grava alrededor de las aberturas de la rejilla, impidiendo el libre paso del agua hacia dentro del pozo, como se muestra en la figura siguiente;



**Figura 19.** Formación de puentes de grava

### **Taponamiento de Rejillas**

Este tipo de irregularidad disminuye la capacidad de captación de agua de un pozo, y entre las causas que la pueden originar, se encuentran:

- ✓ Inestabilidad de Bombeo, el cual genera arrastre de sólidos y aumento de la turbidez
- ✓ Falta de mantenimiento preventivo.

## Desgaste de la Bomba

Las bombas de agua están generalmente construidas con los más altos estándares de ingeniería y los mejores materiales; pero desafortunadamente operan, en la mayoría de los casos, bajo condiciones físicas y químicas por debajo de lo ideal.

Las bombas pueden dejar de operar en óptimas condiciones por muchas causas, entre las cuales se pueden mencionar:

- ✓ Uso de rejillas con aberturas muy grandes
- ✓ Colocación de las rejillas en una formación arenosa
- ✓ Uso de rejillas con aberturas mal diseñadas: produce una rata excesiva de flujo con arrastre de sedimentos y una acumulación de éstos en los límites del pozo
- ✓ Corrosión de la rejilla
- ✓ Sobredimensionar el tamaño de las partículas del filtro de grava (a través de los cuales pasarán partículas finas)
- ✓ Desarrollo inadecuado del pozo

La corrección de estos problemas resulta muy costoso, resultando hasta más económico la construcción de un nuevo pozo. Lo aconsejable es colocar una bomba nueva elaborada con materiales que sean resistentes al contacto con la arena, y aseguren un período de vida útil mas largo que una bomba de materiales convencionales.

A continuación se muestra una tabla en la que se exponen los materiales más resistentes y económicos en la construcción de bombas para pozos subterráneos de agua.

**Tabla 11.** Materiales recomendados para la construcción de bombas de pozos de agua

PARTE DE LA BOMBA	MATERIAL
Impelentes	Bronce
Vástago	Acero inoxidable
Forro del cabezal	Acero al carbono
Difusor	Acero al carbono
Columna	Acero

Fuente: MORAO, Dinorah. "Evaluación y Optimización del Funcionamiento de Pozos Subterráneos de Agua

El sobredimensionamiento de una bomba trae como consecuencia inestabilidad en el flujo que succiona, representándose como variabilidad en el caudal y alto contenido de aire.

### **Disminución de la capacidad del acuífero.**

La *disminución de la capacidad del acuífero* está regida por dos factores:

- ✓ La construcción de pozos aguas arriba o cercanos al pozo estudiado, que provoquen *interferencias* en los niveles de bombeo.
  
- ✓ La época del año: en sequía la escorrentía o percolación es menor que en épocas de lluvia, por lo que es de esperar que en esta época del año la velocidad de la recarga sea menor y por consiguiente el caudal.

### **3.5.3. Contaminación**

En casi todos los lugares, el agua subterránea en su estado natural es de calidad sanitaria satisfactoria. Esto es particularmente cierto cuando los acuíferos han sido construidos bajo suelos arenosos. Sin embargo, algunas fuentes locales de agua subterránea han sido contaminadas como resultado del descuido de las actividades humanas. Una de las causas es el destino equivocado que se le da a los desechos líquidos. Por lo tanto se presentan tres tipos de contaminación en las agua de los pozos; por bacterias, por hidrocarburos y por detergentes. En la Cervecería Polar Los Cortijos estos tipos de contaminación son tratados con métodos de desinfección efectuados en la PTAB y pueden ser controlados con un mantenimientos preventivos.

## **3.6. Desarrollo y Mantenimiento de Pozos de Agua**

El desarrollo y el mantenimiento de pozos coinciden en presentar las mismas técnicas de procedimiento, con la diferencia de que el desarrollo se lleva a cabo justo cuando se ha completado la construcción del pozo y se hace para limpiarlo y dejarlo listo para comenzar a usar. El objetivo principal del desarrollo es eliminar todo el lodo de perforación que pudo quedar adherido a las paredes del pozo impidiendo la entrada del

flujo de agua, y para preservar la vida útil del pozo, es necesario aplicar un mantenimiento preventivo. Dicho mantenimiento asegura<sup>[10]</sup>:

- ✓ Restituir la porosidad y permeabilidad de la formación natural en los alrededores del pozo.
- ✓ Estabilizar la formación granular en torno a la rejilla, de manera que el pozo descargue agua libre de arena
- ✓ Eliminar incrustaciones y precipitaciones de hierro en las inmediaciones de la rejilla
- ✓ Extraer las acumulaciones de sólidos dentro del pozo
- ✓ Remover formaciones orgánicas.

Existen métodos mecánicos para remover incrustaciones superficiales, y métodos químicos en los que se utilizan sustancias que permiten eliminar incrustaciones fuertes y material de los estratos, además de remover materia orgánica que se haya formado, cabe destacar que la aplicación de las sustancias químicas se realiza mediante la ayuda de los métodos mecánicos, ayudando así a una limpieza profunda.

Durante la limpieza de los pozos se realiza la remoción de incrustaciones que se forman en los conductos de agua que impiden el paso de esta hacia el pozo, las diferentes formas de incrustación incluyen las siguientes:

- ✓ Por precipitación de carbonato y sulfatos de calcio y magnesio (Incrustación Tipo A)
- ✓ Por precipitación de compuestos de hierro y manganeso (Incrustación Tipo B)
- ✓ Por gelatina producida por bacterias ferrosas (Incrustación Tipo C)
- ✓ Deposición de materiales como limo y arcillas (Incrustación Tipo D)
- ✓

Se debe recalcar que las dos primeras incrustaciones (Tipo A y B) sólo dependen de calidad del agua del acuífero, y las dos últimas (Tipo C y D) por falta o mal mantenimiento preventivo de los mismos.

Los métodos de limpieza más comunes son los que se muestran a continuación:

**Tabla 12.** Métodos mecánicos de limpieza y desarrollo de pozos

MÉTODO	PRINCIPIO	CARACTERÍSTICAS
<b>Agitación con aire</b>	Inyección de aire mediante un tubo eductor instalado dentro del pozo (ver figura 20 ). El aire entra a presión y agita el agua removiendo el material precipitado <sup>[11]</sup> .	El aire sube rápidamente, por lo que el periodo de aplicación debe ser más prolongado. Es el más económico. Desaloja material depositado en el fondo de los pozos. Útil solo para limpieza. (Incrustación Tipo D)
<b>Agitación con agua ó Hidrofracturación</b>	Se extrae la tubería de bombeo y se introduce una tubería con un cabezal fijo, que dispone de orificios por donde sale el agua.(ver figura 21)	Limpia y dispersa el material formado en el filtro de grava. Incrementa la porosidad y permeabilidad de la zona que rodea la rejilla. Elimina las películas orgánicas formadas en el pozo Es el más costoso de los tres tratamientos mecánicos. Útil para limpieza y desarrollo. (Incrustación Tipo D)
<b>Sonar – Jet</b>	Se concentra la presión con ondas de choque por lo que la limpieza es más profunda <sup>[11]</sup> .	Destruye las formaciones de puentes en el filtro de grava y remover películas orgánicas o incrustantes de las rejillas y tubería ciega del pozo. (Incrustación Tipo C)
<b>Baqueteo</b>	Introducir una “barra” que posee orificios y guayas horizontales (cepillos), el que se hace girar en las secciones de las rejillas.	Elimina incrustaciones superficiales en todas las secciones de rejillas, gran efectividad por el contacto metal-metal. Útil sólo para limpieza. (Incrustación Tipo A, C y D)
<b>Pistoneo</b>	Por medio de un pistón con movimientos verticales, se agita la sustancia química, generalmente polifosfato.	Limpia y dispersa los materiales incrustados (Incrustación Tipo C y D) y durante el desarrollo elimina el lodo de perforación .

La forma de aplicación de las sustancias químicas para el mantenimiento y limpieza de pozos, es directa y con un tiempo de acción de 24 horas, para luego ser removidos mediante agitación con agua.

Las sustancias más usadas se muestran a continuación:

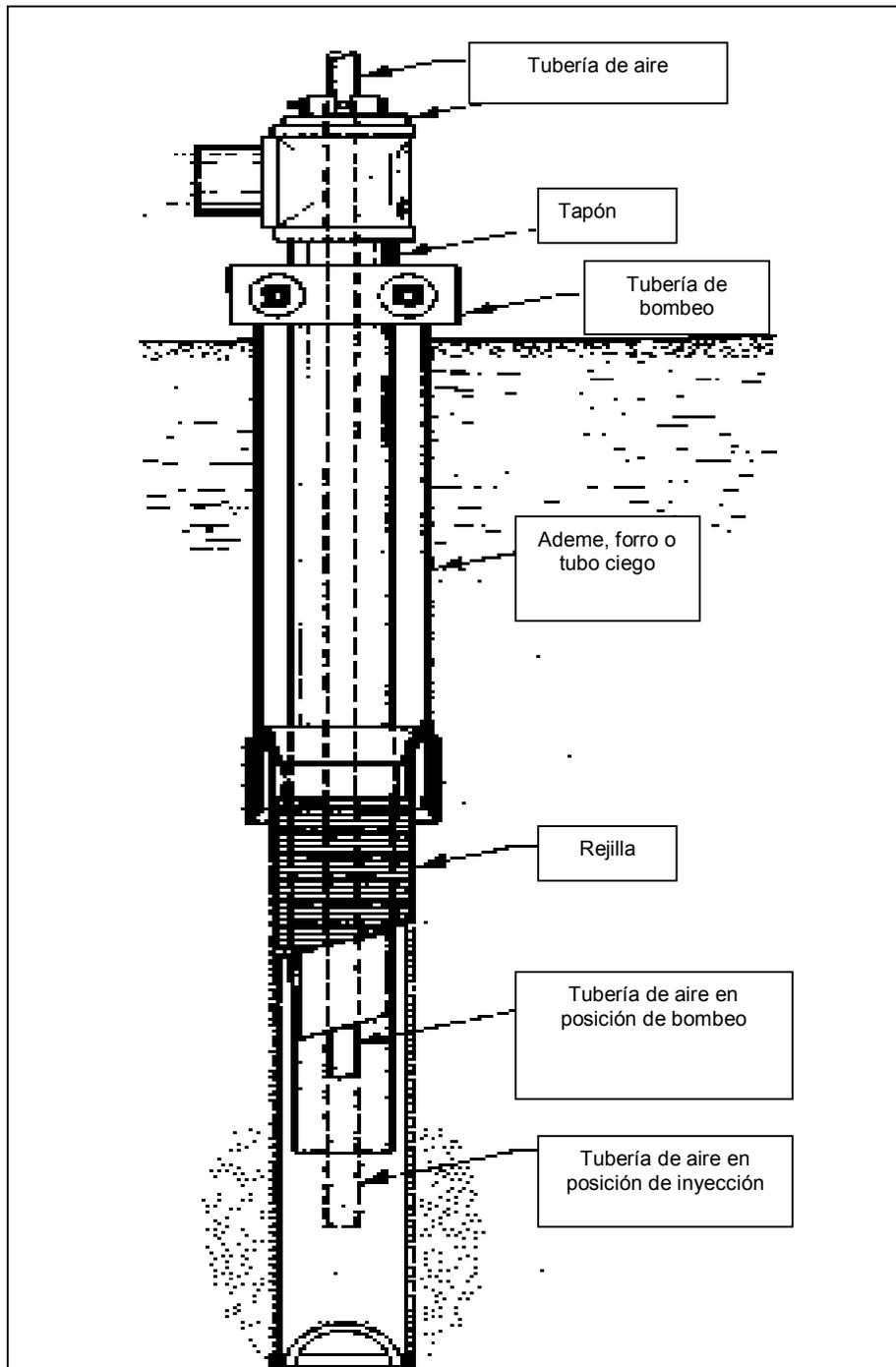
**Tabla 13.** Sustancias químicas para limpieza y desarrollo de pozos<sup>[10]</sup>.

SUSTANCIA	ACCIÓN
<b>Ácido clorhídrico inhibido</b>	Disuelve incrustaciones de carbonato de calcio de forro y rejillas. (Incrustación Tipo A y B)
<b>Peróxido de Hidrógeno</b>	Elimina películas orgánicas y depósitos de hierro (Incrustación Tipo B y C)
<b>Cloro</b>	Elimina bacterias
<b>Polifosfato</b>	Rompe y dispersa los materiales incrustados como óxido de hierro, limos y arcillas, y durante el desarrollo, restos de lodo de perforación.

En Cervecería Polar Los Cortijos se graba en video la parte interna los pozos antes y después de cada limpieza para poder comparar y asegurarse de que el método empleado cumplió su función, y a continuación se nombran los equipos más importantes usados durante la limpieza:

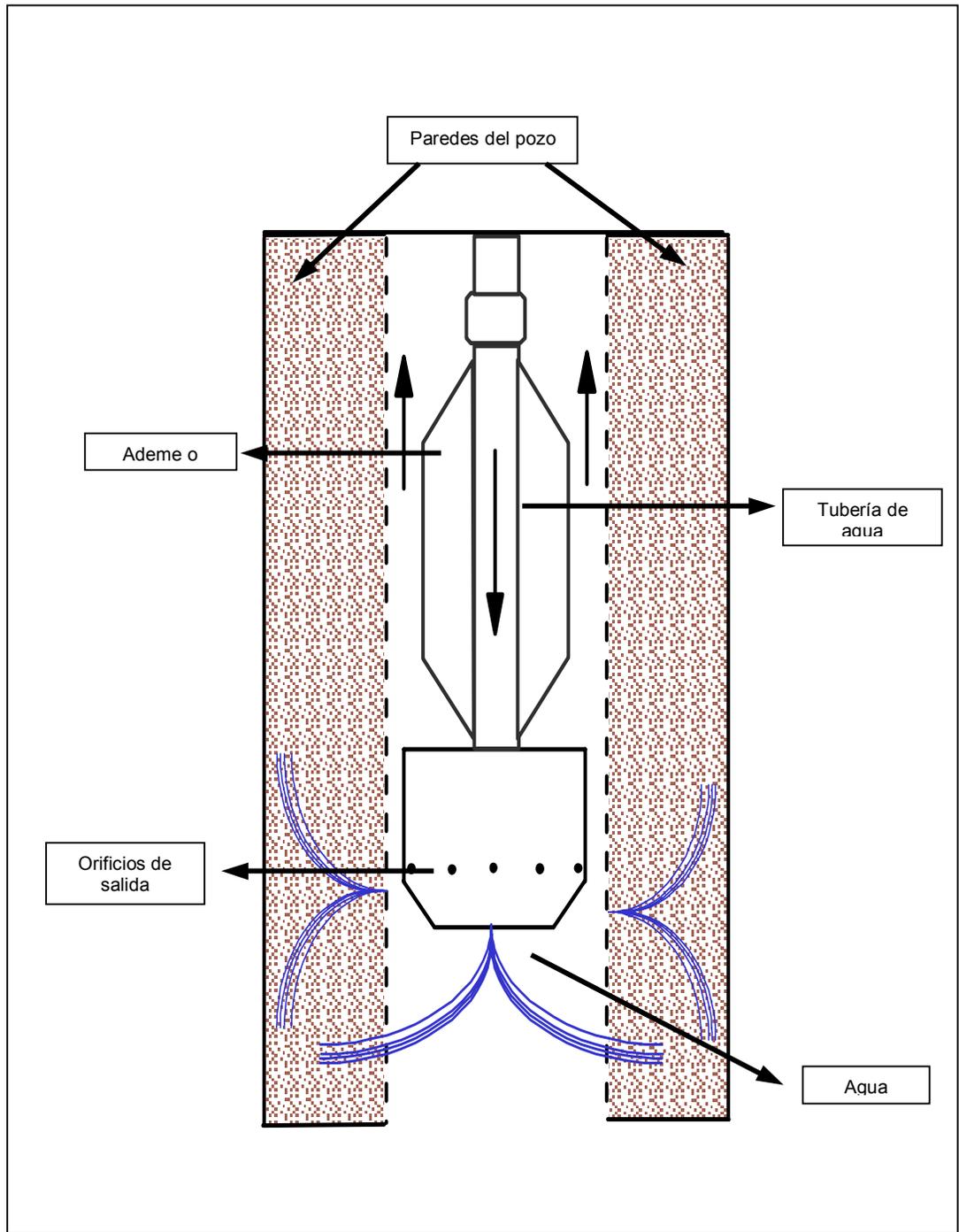
Equipo utilizado:

- ✓ Grúa.
- ✓ Compresor de 760 CFM
- ✓ Baqueta: niple de 4" x 60 relleno de plomo con orificios de 1/2" donde van colocadas guayas de 1/2".
- ✓ Tuberías de 6.40 m de longitud y  $\phi$  4".
- ✓ Jitter: niple con orificios de 1/2",  $\phi$  4" y línea de aire
- ✓ Cámara de filmación



**Figura 20.** Disposición de los equipos para mantenimiento con aire

Fuente: MORAO, Dinorah “Evaluación y Optimización del Funcionamiento de Pozos Subterráneos de Agua”.



**Figura 21.** Equipo de Hidrofracturación

## CAPÍTULO IV.- METODOLOGÍA

Fue necesario realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de libros especializados, decretos, gacetas y normas nacionales de pozos de agua, además de analizar notas y registros realizados por ingenieros con la finalidad de ampliar los conocimientos en dicha área. Para alcanzar los objetivos fue necesario dividir el estudio en tres secciones, como se muestra a continuación:

### *1 Evaluación de Pozos Existentes*

Todos los pozos cuentan con sensores eléctricos que miden caudal y nivel; estos datos son reportados en la sala de control de PTAB por medio de un programa de monitoreo llamado FIX, con este programa se puede ver el comportamiento a través del tiempo del pozo en estudio, ya que almacena históricos y además permite tomar medidas puntuales. Con el fin de verificar la ubicación y el buen funcionamiento de los sensores fue necesario hacer mediciones manuales de niveles de la siguiente manera:

Para que el *nivel estático* se estabilizara se interrumpió la operación del campo de pozos por 72 horas para luego realizar la medición y compararla en el mismo instante con el valor reportado por el programa FIX.

Para la medición del *nivel dinámico* se dejó en operación 48 horas continuas al campo de pozos para posteriormente efectuar la medición y comparar nuevamente con el valor reportado por el programa FIX.

Una vez confirmada la veracidad de los valores reportados por el programa, se decidió tomar estos directamente para realizar el estudio de las características hidráulicas (nivel dinámico, nivel estático y caudal) de cada pozo. Estas características permiten evaluar el comportamiento del pozo en estudio, para luego realizar las pruebas de bombeo en donde se midió el nivel estático y luego se puso en marcha el pozo. A partir del momento en que el pozo comenzó a funcionar FIX se encargaba de registrar datos de nivel de bombeo, caudal y tiempo. La mediciones se tomaron después de los 10 minutos de haberse iniciado

el bombeo. Además se calculó tanto la transmisividad como la capacidad específica de cada uno .

## ***2 Construcción de Nuevos Pozos***

Se supervisaron 4 perforaciones exploratorias haciendo seguimiento de cada una de ellas. La logística seguida en este caso fue tomar nota de los procedimientos involucrados en cada actividad y compararlos con los realizados en los pozos existentes y en la bibliografía.

Las perforaciones de los nuevos pozos se realizaron bajo el orden de un cronograma de actividades planteado por los ingenieros de la Cervecería. Una vez finalizada la perforación del pozo, se utilizó un dispositivo Schlumberger que consta de una batería, un potenciómetro y electrodos que miden intensidad de corriente, con lo que se realizó el registro eléctrico de tres curvas: Resistividad, Potencial Espontáneo y Rayos Gamma.

Se interpretaron dichas curvas comparándolas con las muestras extraídas de la perforación para realizar el diseño del tubo interno del pozo, el cual consta de un tubo liso sin costura y rejillas de captación, las cuales deberán ir ubicadas en las capas de los estratos donde anteriormente se determinaron las venas del acuífero, por medio del registro eléctrico.

Con los resultados de la comparación entre curvas y muestras se planteó el diseño del entubado de dos pozos los cuales se discutieron con los ingenieros de la compañía perforadora y los de la Cervecería, una vez construidos los pozos se les aplicaron las pruebas de bombeo e interferencia antes de ponerlos en servicio. Se revisó la información de las pruebas de interferencia realizadas anteriormente y se interpretaron los resultados en cuanto a distancia entre pozos y caudal de producción. Para determinar la posible interferencia entre los pozos nuevos y los existentes fue necesario cumplir con el siguiente procedimiento:

Se determinó la distancia en metros de los pozos existentes cercanos con respecto al pozo nuevo en estudio, esto se realizó consultando los planos de ubicación de la cervecería y luego manualmente con un cinta métrica.

A los pozos involucrados se les midió las características hidráulicas antes del estudio (Niveles y Caudal). Luego se procedió a bombear el pozo nuevo en estudio durante 48 horas, con los pozos existentes cercanos en funcionamiento.

Para observar la influencia se tomaron los datos hidráulicos del FIX y se graficó el comportamiento de los pozos por separado, es decir, para cada pozo se graficó caudal versus tiempo y luego se compararon sus comportamientos antes y después de la prueba.

### ***3 Operación de pozos***

Se realizó una evaluación hidráulica del sistema de recepción con el objeto de optimizar su operación y determinar su influencia en el comportamiento de los pozos, en el consumo masivo de energía, en el deterioro de los equipos de bombeo y en el aumento de la turbidez del tanque B, esta evaluación se dividió en los siguientes puntos:

#### *Estudio del modo de operación del sistema de recepción*

Actualmente el modo de operación de los pozos está regido por los niveles de los tanques, principalmente, el tanque A y el tanque B. El procedimiento seguido en dicha operación es poner en funcionamiento todo los pozos más las dos aducciones municipales, sin importar cual es la demanda de agua por área, esto causa que el tanque A se llene de manera muy rápida y que automáticamente los pozos en operación se paren por alto nivel; cuando esto sucede el tanque B comienza a descender por la demanda de las áreas, hasta un punto que vacía todo el tanque A y arrancan de nuevo los pozos. Este comportamiento se observó durante 4 semanas, tomando los datos del FIX y analizando sus posibles consecuencias.

### *Estudio de la Turbidez en el Tanque B y en los filtros de arena*

Se recolectaron datos de turbidez diarios durante 4 semanas. En este período las pruebas realizadas consistieron en la observación del comportamiento de la turbidez en el tanque B y en los filtros de arena, operando el sistema de recepción de manera tradicional. Los datos de turbidez en el tanque B fueron obtenidos por los operadores de PTAB, quienes tomaban una muestra de agua del tanque y le medían la turbidez diariamente.

Los datos de turbidez en los filtros de arena fueron obtenidos por medio gráficos del programa de monitoreo FIX, los cuales se encuentran graficados en función del caudal.

### *Seguimiento del Consumo de Energía*

En la sala de máquinas de la cervecería se lleva un control diario del consumo de energía en los diferentes sectores de la misma. Para realizar el seguimiento se le solicitó a un supervisor de la sala que hiciera el reporte mensual, sólo de la energía consumida en el área de pozos, el cual está expresado en Kw/h.

Con estos datos se realizó una tabla comparativa para determinar cuál de las áreas de los pozos consumía más energía y por qué.

### *Evaluación del agua requerida por área*

Para este estudio se tomó como base el Plan de Filtración realizado en estudios anteriores, en el cual se calculó el caudal requerido por el Área de Envasado y por el Área de Elaboración para la producción diaria de cerveza.

### Cálculo del Caudal Requerido por el Área de Envasado

La gerencia de envasado suministra una programación semanal de los litros de producto a envasar por día (Pilsen, Solera, Ice, Light y Maltín). Para realizar el cálculo del caudal se totalizaron los litros de producto por día, estos datos se introdujeron en el plan de filtración y se determinó el caudal máximo en m<sup>3</sup>/h requerido diariamente.

### Cálculo del Caudal Requerido por el Área de Elaboración

La gerencia de elaboración suministra un plan semanal del número de cocimientos a realizar por día. Para realizar el cálculo del caudal se introdujeron los números de cocimientos en el plan de filtración y se determinó el caudal máximo en m<sup>3</sup>/h.

### *Planificación del Agua Suministrada*

Se totalizó el caudal de agua a emplear sumando el requerido por el área Elaboración y el área de Envasado; y se le asignó el 40% de este caudal total a las aducciones del acueducto metropolitano (Hidro I, HidroII) y el 60% restante se asignó a los pozos. La asignación de los pozos se realizó tomando el número de pozos necesarios para que la suma de sus caudales fuera igual al 60% del caudal total requerido para un día en específico. De esta manera se planificó el agua suministrada diariamente.

### *Plan de Consumo*

Evaluada los puntos anteriores, se aplicó el plan de consumo diario durante 4 semanas. El procedimiento empleado fue el siguiente:

Se recibía el plan semanal de producción de envasado y el de cocimientos y se introducían en el plan de filtración.

El resultado de la suma de los caudales en m<sup>3</sup>/h de ambas áreas, se colocó en el plan de consumo, determinando el caudal que debería pasar por las aducciones ( Hidro I e Hidro II) y el que debería extraerse de los pozos, determinando qué pozos se deberían operar y cuáles no.

### *Cálculo del Agua Consumida*

Con el fin de verificar que la cantidad de agua suministrada por medio del plan de consumo cumpliera con el agua demandada por la cervecería, se procedió a calcular el agua consumida. Esto se realizó revisando los contadores eléctricos diarios que reportan que cantidad de agua que pasó por los distintos sistemas (Agua filtrada, Agua suave, Agua

cervecera y Agua desmineralizada). La sumatoria del agua que pasó por estos sistemas en  $m^3/h$ , es el agua que se consumió en un día y se comparó con el caudal de agua planificado.

#### *Elaboración de un Nomograma*

Con el objetivo de facilitar el manejo del plan de consumo, se procedió a elaborar un nomograma para realizar el cálculo del agua requerida. Este gráfico se realizó en *Microsoft Excel* donde se generaron los datos necesarios a partir de los planes de semanales de elaboración y envasado. Con este nomograma el Operador de Turno en PTAB, puede planificar de una manera fácil y práctica la cantidad de agua que va a suministrar conociendo los litros de producto a envasar por día y el número de cocimientos.

Para el plan de consumo se realizó una hoja de procedimientos, describiendo las actividades que se deben seguir y explicando paso a paso el uso del nomograma. Al igual que los procedimientos de la parte anterior esta se realizó en *Visio Technical 4* siguiendo las normas *ISO 9000* para manuales y procedimientos.

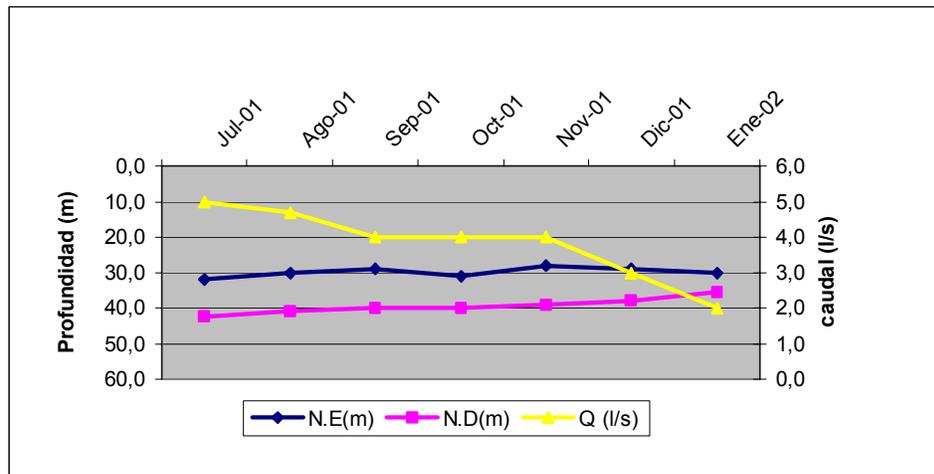
## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el mismo orden en que se planteó la metodología.

### *Evaluación de Pozos Existentes*

En esta sección se muestran las características hidráulicas de cada uno de los pozos y su comportamiento en el tiempo. Estas características (caudal, nivel estático y dinámico) se indican en cada pozo por separado.

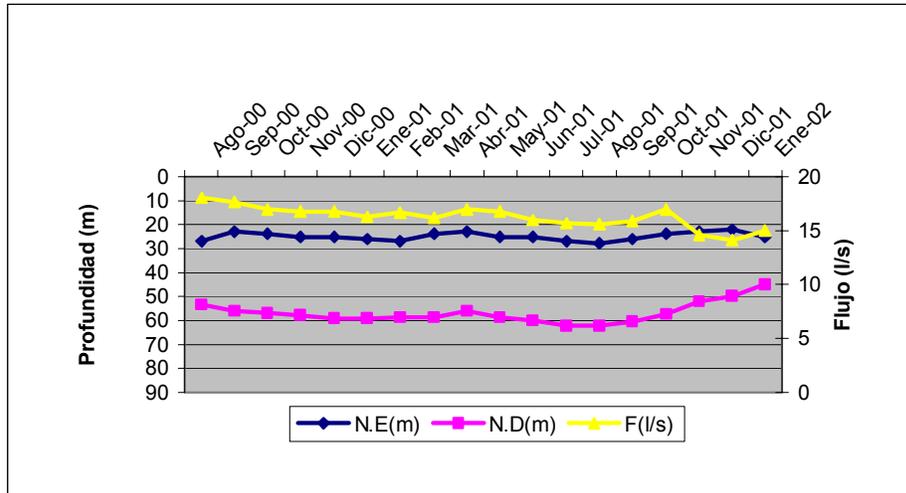
**Gráfico N° 1.** Evaluación de las características hidráulicas del pozo 1



Como se puede observar en éste gráfico los niveles del pozo han permanecido relativamente constantes, pero es notable que su producción ha mermado, hasta el punto de suministrar 2 l/s. El nivel estático presenta una leve recuperación en el transcurso del tiempo debido a que el poder de captación del pozo ha disminuido, trayendo como consecuencia directa el descenso del caudal. Entonces podemos afirmar que el comportamiento de este pozo se debe a varias razones, la primera y más importante radica en que es un pozo muy antiguo ya que su construcción data de 1958, también que es un pozo de poca profundidad (60 metros) con lo que se deja de aprovechar el acuífero y además tiene un diseño de entubado de una sola rejilla que aparte es del tipo “Ranurado”

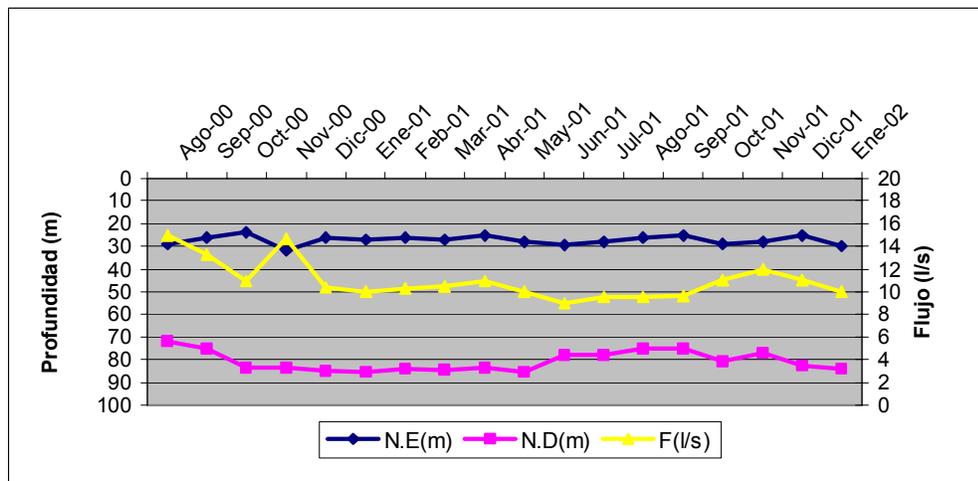
presentando un bajo porcentaje de área abierta, las aberturas son inexactas y varían de tamaño lo que dificulta el fácil acceso de agua, es por estas razones por lo que se decidió reemplazarlo.

**Gráfico N° 2.** Evaluación de las características hidráulicas del pozo 2.



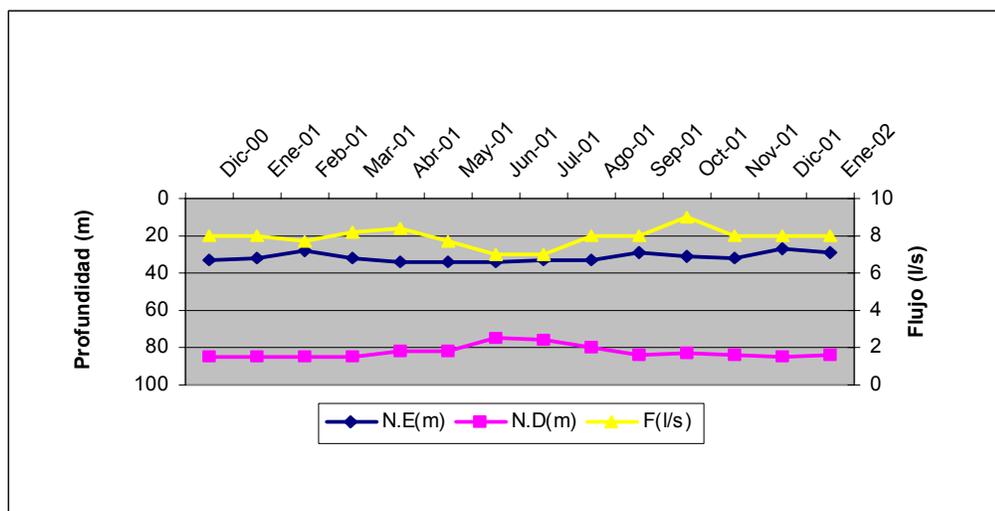
El pozo #2 es uno de los mejores de la Cervecería ya que aunque su caudal ha disminuido en casi 4 l/s este se ha mantenido superior a 14 l/s debido a que el diseño del entubado permite aprovechar la mayor cantidad de agua proveniente del acuífero, este descenso se debe tanto a los años de servicio como a la interferencia con los pozos #1, #3 y #4 que fue demostrada en estudios anteriores.

**Gráfico N° 3.** Evaluación de las características hidráulicas del pozo 3.



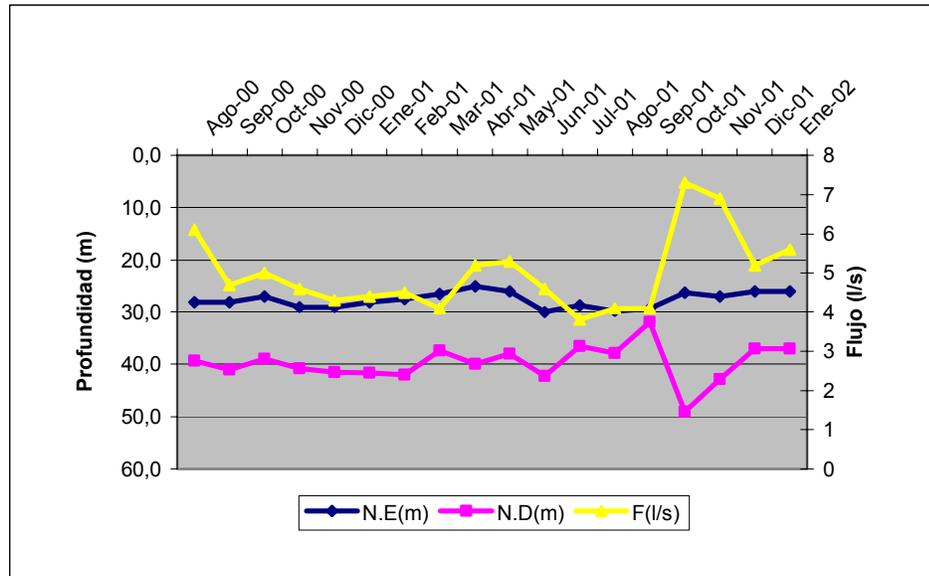
De igual manera que el pozo #2, el pozo # 3 es un pozo con buenas características hidráulicas las cuales en general, también se han mantenido constante. Pero tomando en cuenta que su caudal de diseño fue de 13 l/s, su producción ha mermado 3 l/s en los últimos años por lo que se mantiene en 10 l/s que son aceptables para mantenerlo en una producción de nivel industrial, este descenso también se debe en gran parte a la interferencia con los pozos #2, #1 y #4.

**Gráfico N° 4.** Evaluación de las características hidráulicas del pozo 4.



El pozo # 4 presenta un abatimiento relativamente constante de 60 metros, y un caudal de 8 l/s, siendo el caudal de diseño de 12 l/s, esta disminución de caudal y aumento del abatimiento causado por factores como el sobredimensionamiento de la bomba ya que la empresa usa equipos nuevos que están en almacén sin importar las características del equipo, la interferencia con los pozos vecinos y la ubicación de la bomba en una rejilla lo que causa arrastre de sólidos obstruyendo las rejillas y disminuyendo la entrada de agua al pozo, ya que, como se explicó previamente la bomba debe estar acomodada al final del pozo en un espacio destinado para tal fin, permitiendo que el agua entre al pozo y no que la bomba succione directamente desde una rejilla. La bomba de este pozo se encuentra ubicada a 87 metros y coincide con la última rejilla.

**Gráfico N° 5.** Evaluación de las características hidráulicas del pozo 6

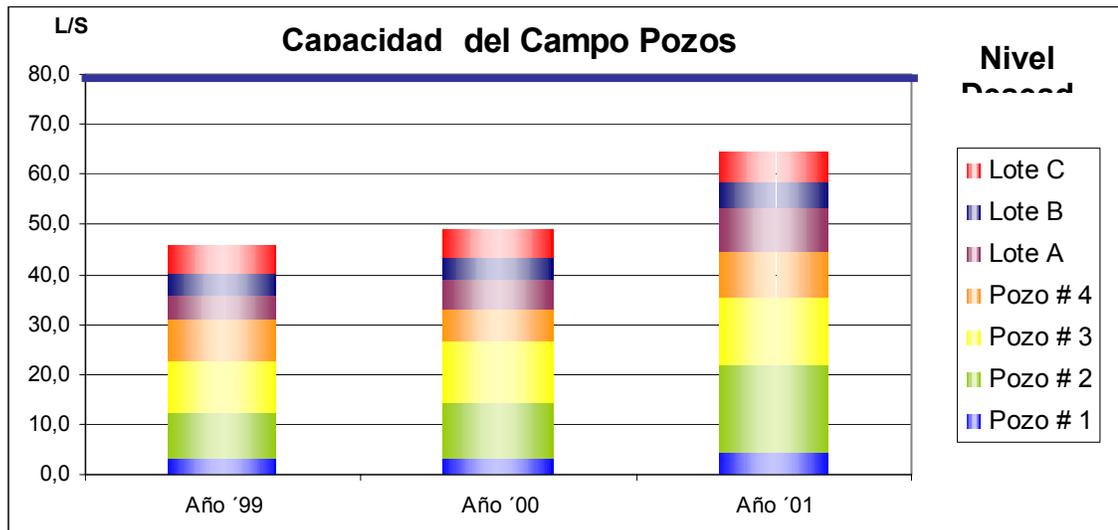


Los pozos ubicados en los lotes son poco productores debido a que se encuentran contruidos en una zona con alto contenido de arcillas impermeables. Esto trajo como consecuencia menor área de captación del agua, y por ende menor producción de los pozos, debido a estas razones se colocó un equipo de bombeo adecuado para baja succión lo que ha permitido que el comportamiento de sus niveles se hayan mantenido sin mayores variaciones al igual que su producción, exceptuando los meses de Septiembre y Noviembre, en los que su producción aumentó, debido a que en el mes de Agosto se le realizó un mantenimiento porque las rejillas se encontraban tapadas debido a la acumulación de arcillas y limos finos, causado por la falta de mantenimiento preventivo.

Para finalizar con las evaluaciones se debe recalcar que los pozos #5 Lote A y # 7 Lote C, no se pudieron representar sus comportamientos de niveles y caudales, debido a que se dañaron los sensores internos(sin poder reponerlos debido a que estos se instalan en la construcción del pozo), éstos operan automáticamente controlados según el nivel de agua en el tanque de Lotes, si disminuye el nivel en el tanque se activa el sistema de bombeo y si el nivel es el adecuado se apaga, este modo de operación trae como consecuencia mayor turbidez y sobreexplotación de los pozos acortando la vida útil de los mismos.

A continuación se representa mediante una gráfica las producción total de los pozos desde 1999 hasta el 2001.

**Gráfico N° 6** Capacidad de producción de los pozos.

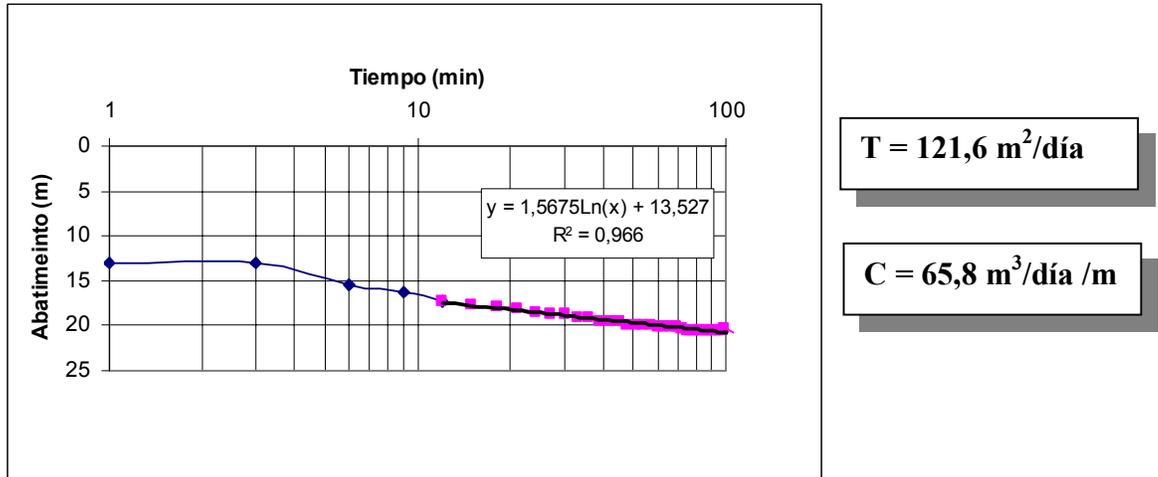


La necesidad de disminuir la dependencia hacia Hidrocapital lleva a la Empresa Polar a comenzar los estudios para alcanzar los 80 l/s necesarios para tal fin. La aplicación de estos estudios comienza claramente en el año 2001 con la limpieza de los pozos, con lo que se pudo confirmar la necesidad de realizar nuevas perforaciones exploratorias con el fin de construir nuevos pozos que contribuyan a conseguir los 80 l/s.

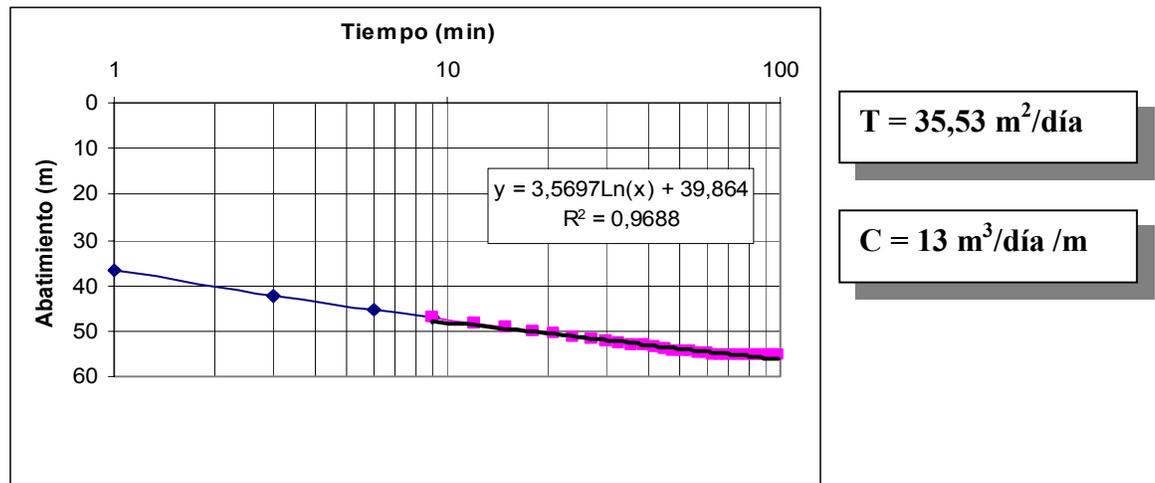
## Pruebas de Bombeo

A continuación se muestran los resultados de la pruebas de bombeo realizadas a los pozos.

**Gráfico N° 7.** Prueba de bombeo del Pozo # 2



La prueba de bombeo del pozo # 2 permitió calcular el valor de transmisividad el cual resultó mayor a  $120 \text{ m}^2/\text{día}$ , lo que indica que el pozo es de uso industrial y el valor de capacidad específica comprueba esta afirmación. Este pozo tiene una capacidad productora de  $66 \text{ m}^3$  por metro de abatimiento y esto le permite tener una gran producción.



**Gráfico N° 8. Prueba de bombeo del Pozo # 4**

Los resultados obtenidos en el pozo # 4 indican que es un pozo de baja producción, por su flujo de 8 l/s , y también por su acentuado abatimiento de 60 metros, lo que explica los valores tan bajos en cuanto a transmisividad y capacidad específica.

Las pruebas de bombeo realizadas a los pozos 3 y 6 arrojaron los siguientes resultados : el pozo #3 ( $T=56,64 \text{ m}^2/\text{día}$  y  $C=65,52 \text{ m}^3/\text{día} /\text{m}$ ) no posee los niveles para ser un pozo netamente industrial pero se usa para este fin ya que su caudal es de 10 l/s que es considerado suficiente para usarse como pozo industrial, en cambio el pozo #6( $T=8,4 \text{ m}^2/\text{día}$  y  $C=39,12 \text{ m}^3/\text{día} /\text{m}$ ) presenta un valor de transmisividad menor a  $12 \text{ m}^2/\text{día}$  lo que indica que no cumple especificaciones para uso industrial, aunque su caudal es de 5 l/s se mantiene en operación ya que no se puede prescindir por la escasez de agua.

A los pozos #5 y #7 no se les efectuó de bombeo, ya que sus niveles se encuentran simulados por la que se les debe realizar un seguimiento manual para poder evaluar sus comportamiento.

De estas evaluaciones se concluye que los pozos existentes de La Cervecería Polar Los Cortijos no aportan el caudal necesario para cubrir las necesidades productoras de la planta, por lo que se justifica el hecho de construir nuevos pozos .

### ***Construcción de Pozos***

En vista de la importancia que reviste el suministro de agua proveniente de los pozos y considerando tanto la merma en la producción de los existentes como el racionamiento por parte de Hidrocapital, la Cervecería estudió la posibilidad de perforar nuevos pozos y realizó 4 perforaciones exploratorias siguiendo la metodología explicada anteriormente en la sección 3.3. La supervisión de estas perforaciones permitió recabar la información necesaria en cuanto a ubicación, diseño y construcción de pozos de agua subterránea, permitiendo establecer criterios que podrán ser utilizados en perforaciones de nuevos pozos.

La metodología emplea para la ubicación de los nuevos pozos fue la de revisar el inventario de pozos existente y en base de estos se asignaba la ubicación de los pozos nuevos, y la exploración se ejecuto mediante el método de perforaciones exploratorias.

### **Resultados de las Perforaciones Exploratorias**

Esta sección resume la etapa en la cual se decidió como se iba a proceder en cada perforación.

#### **Perforación Exploratoria 1 (P.E-1)**

El lugar donde se realizó esta perforación fue en los estacionamientos de MAVESA ubicada en los Cortijos.

A medida que se fue avanzando en profundidad se observó que gran parte de los estratos presentaban gran contenido de arcillas y arenas finas que por su impermeabilidad indican que el pozo es poco productor, luego cuando la perforación alcanzó los 94 metros se obtuvo el primer reporte de que se había alcanzado el esquisto (roca madre), y una vez llegada a esta profundidad se corrió un primer registro eléctrico arrojando como resultado varios tramos de arcillas impermeables. Sin embargo en las muestras tomadas se observó un tramo de 44 metros (de 21 a 65m) con un lecho de arena cuarzosa indicando presencia de agua. Debido a la divergencia entre los resultados se decidió hacer una prueba de

captación mediante un compresor, el cual dió como resultado un bajo caudal de 1 l/s con un nivel de bombeo de 26 metros por lo que se decidió no construir el pozo.

La Cervecería decidió perforar 18 metros más hasta llegar a 112 metros con la esperanza de encontrar un estrato permeable, sin embargo las características geológicas del pozo permanecieron iguales, tal como lo había previsto el personal contratado que ejecutaba la perforación así como fue mencionado en la revisión bibliográfica, que el pozo termina en el fondo del acuífero ó esquisto. La perforación exploratoria arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 14.** Descripción litológica del material encontrado en P.E-1, según la muestras tomadas

<b>Desde (m)</b>	<b>Hasta (m)</b>	<b>Descripción Litológica</b>
0	0,5	Material de relleno
0,5	10	Arena fina a media con arcillas
10	15	Arcilla amarilla
15	21	Arena fina a media con secciones de arcillas
21	65	Arena media cuarzosa acuñada
65	70	Arcilla plástica verdosa
70	112	Esquisto grafitoso con presencia de cuarzo no fracturado

La curva de rayos gamma mostrada en el anexo 3, indicó varios picos pronunciados hacia la derecha verificando los tramos con presencia de arcillas impermeables y especialmente el tramo desde los 21 m hasta los 65 m donde la grava o material permeable, también presentaba alto contenido de arcilla disuelta.

Las características hidráulicas del pozo medidas durante la prueba de captación fueron las siguientes

**Tabla 15.** Características Hidráulicas de P.E-1

<b>Caudal (l/s)</b>	<b>N.E (m)</b>	<b>N.D (m)</b>	<b>Abatimiento (m)</b>
1	13	26	13

El caudal corresponde al flujo de agua del pozo que se obtuvo mediante una prueba de captación con un compresor, debido a que el pozo no está terminado y no posee equipo de bombeo, el valor del caudal es 1 l/s, lo que significa que con el equipo de bombeo aportará menos de 5 l/s, como se explica en la sección 3.3.3 . Aunque tiene un abatimiento de 13 m, el caudal no es suficiente para un pozo de uso industrial. Por lo tanto, de acuerdo con los resultados litológicos e hidráulicos, se decidió no completar el pozo y cerrarlo.

### **Perforación Exploratoria 2 (P.E-2)**

El lugar seleccionado fue el sector Nor-Este del estacionamiento de la Distribuidora Polar Metropolitana (DIPOMESA).

Se perforó hasta 101 metros de profundidad, en este punto se decidió detener la perforación debido a la dureza del material encontrado (esquisto). En las muestras de estratos tomadas cada metro, se encontraron 6 tramos de arena gruesa cuarzosa a diferentes profundidades(13-20m, 21-25m, 28-37m, 37-41m, 45-61m, 64-70m), indicando alto contenido de agua. Los resultados de esta perforación fueron los siguientes.

**Tabla 16.** Descripción litológica del material encontrado en P.E-2, según la muestras tomadas

<b>Desde (m)</b>	<b>Hasta (m)</b>	<b>Descripción Litológica</b>
0	4	Arena fina con arcilla
4	8	Arena media con arcilla
8	9	Arcilla amarillenta
9	11	Arena media
11	13	Arcilla plástica
13	20	Arena gruesa cuarzosa
20	21	Arcilla
21	25	Arena gruesa cuarzosa
25	28	Arcilla limosa
28	37	Arena gruesa cuarzosa con presencia de arcilla
37	41	Arena gruesa cuarzosa
41	45	Arcilla amarillenta
45	61	Arena gruesa cuarzosa
61	64	Arcilla parda amarillenta
64	70	Arena gruesa cuarzosa
70	72	Arcilla verdosa
72	101	Esquisto grafitoso.

El *Registro Eléctrico* realizado permitió confirmar el material encontrado en las muestras y la ubicación del agua. En este caso el comportamiento de la curva de rayos gamma mostrado en el anexo 4, marca una diferencia notable entre gravas y arcillas. Así mismo la curva de resistividad, en tramos como por ejemplo, el que va desde 21 m a 25 m indica baja resistencia ofrecida por el material poroso, en este caso grava gruesa, y alta resistencia en los materiales impermeables como las arcillas. En esta perforación exploratoria no se realizó la prueba de captación por precaución, debido a que el material encontrado en la superficie era muy blando y por esto existía el riesgo de derrumbe.

Los resultados de los estudios geofísicos indicaron que el pozo cubría los requerimientos para uso industrial, debido a los 6 tramos de arenas productoras mencionadas anteriormente y por esto, se decidió proceder con el diseño y construcción del pozo. Cabe destacar que este pozo (P.E-2) pasó a ser Pozo 1 (nuevo) sustituyendo al antiguo ubicado en la autopista de los Ruices, debido a que sus niveles descendieron a valores críticos y su producción no era aprovechable industrialmente.

Debido a que los 4 pozos existentes en la zona donde se realizó P.E-2, poseen un diámetro de ademe o entubado de 10 pulg., ya que la producción de cada uno es mayor a 10 l/s a excepción del pozo # 4(explicado anteriormente) y las características litológicas son similares a las encontradas durante esta perforación (P.E-2), por lo que se espera que la producción de éste pozo nuevo se encuentre por el mismo orden. Tomando en cuenta esta consideración se seleccionó un diámetro de tubo de 10 pulg. de acero al carbono. Además este diámetro permite acomodar la bomba sumergible vertical seleccionada para caudales entre 10 y 25 l/s.

Las rejillas seleccionadas para este pozo fueron de tipo Ranura Continua en acero inoxidable, para los estratos porosos como las gravas y arenas gruesas se seleccionaron rejillas N° 40, es decir con tamaño de abertura de 1 mm y para los estratos con mayor cantidad de materiales finos, se seleccionaron de menor tamaño N° 20 y N°10.

A continuación se muestra el diseño del entubado realizado por la empresa contratada:

**Tabla 17.** Diseño del entubado de P.E-2

Desde (m)	Hasta (m)	Descripción Litológica	Desde (m)	Hasta (m)	Ubicación de rejilla
0	4	Arena fina con arcilla	0	38	Tubo ciego
4	8	Arena media con arcilla			
8	9	Arcilla amarillenta			
9	11	Arena media			
11	13	Arcilla plástica			
13	20	Arena gruesa cuarzosa			
20	21	Arcilla			
21	25	Arena gruesa cuarzosa			
25	28	Arcilla limosa			
28	37	Arena gruesa cuarzosa con presencia de arcilla			
37	41	Arena gruesa cuarzosa	38	41	1 Rejilla N° 40
41	45	Arcilla amarillenta	41	46	Tubo ciego
45	61	Arena gruesa cuarzosa	46	61	5 Rejillas N° 40
61	64	Arcilla parda amarillenta	61	64	Tubo ciego
64	70	Arena gruesa cuarzosa	64	70	2 Rejillas N° 20
70	72	Arcilla verdosa	70	79	Tubo ciego
72	101	Esquisto grafitoso.	79	82	1 Rejilla N°10
			82	90	Tubo ciego

La última rejilla de este diseño no cumple con los criterios de ubicación, ya que se encuentra colocada en un estrato poco productor ya que es el esquisto o roca madre, además, tanto en los registros eléctricos como en las muestras no se observa presencia de agua en este último estrato, y en el caso de que se comprobara existencia de agua, la abertura de la rejilla debería ser mayor ya que no hay presencia de material fino en esta zona, por lo que se desconoce la razón por la cual la empresa contratada decidió la colocación de esta.

Para la construcción del pozo se amplió la cavidad a 26” repasando la perforación con una brocas desde 9 5/8” hasta 36” para la instalación del sello sanitario, colocándose un

tubo metálico de 20” de diámetro y 12 m de profundidad, encementando el espacio anular de 3 pulg. según la Gaceta Oficial N°. 36.298, el esquema del sello sanitario se presenta en el anexo 5.

Se instaló el entubado de acuerdo al diseño de la tabla, y se colocó el filtro grava en el espacio anular de 5 pulg. de espesor, la grava se seleccionó de acuerdo al tamaño de la abertura de la rejilla predominante, en este caso, la N° 40 y la grava seleccionada fue de río N° 3-4 debido a su esfericidad como se menciona en la revisión bibliográfica.

Terminada la construcción del pozo, se procedió al desarrollo de este mediante agitación con aire comprimido las diferentes secciones de las rejillas desalojando todo el lodo utilizado durante la perforación, hasta que el agua salió clara, bombeando 5,7 l/s con un nivel de bombeo de 39 m. Luego se realizó el pistoneo empleando como producto dispersante un polifosfato “Hexametafosfato de Sodio”, agitándolo con el pistón y dejándolo reposar durante 12 horas para dispersar las arcillas y desalojar el resto del lodo; transcurrido ese tiempo se volvió a agitar con el pistón, para luego desalojar por medio de un compresor los materiales precipitados en el fondo. La mejoría del pozo fue notoria después del desarrollo como se muestra a continuación.

**Tabla 18.** Efectividad del método de Pistoneo en el desarrollo

<b>Q (l/s) antes del Pistoneo</b>	<b>Q (l/s) después del Pistoneo</b>
5,7	18

La compañía contratada realizó una prueba de bombeo con una bomba de turbina sumergida durante más de 180 horas continuas, estos valores se pueden apreciar en el anexo 6. Finalizados los trabajos de ésta compañía, la misma entrega el pozo con las siguientes características hidráulicas, resultado de la prueba de bombeo.

**Tabla 19.** Resultados de la prueba de bombeo preliminar

<b>Q(l/s)</b>	<b>N.E(m)</b>	<b>N.D(m)</b>	<b>Abatimiento(m)</b>
19,25	18	72,5	54,5

El alto valor del nivel dinámico es compensado por la producción del pozo que es de 19,25 l/s, con lo que se refuta la teoría de que si un pozo tiene un gran abatimiento tendrá un bajo caudal, como se mencionó en la revisión bibliográfica, quizás esto se deba a que el pozo esta recién construido.

Ahora, para cumplir con los requerimientos exigidos por el M.S.A.S se realizaron los análisis físicos, químicos y microbiológicos arrojando los siguientes resultados:

**Tabla 20.** Resultados del análisis físico-químico efectuado al pozo P.E-2

<b>Característica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Alcalinidad	ppm CaCO <sub>3</sub>	190
Dureza	ppm CaCO <sub>3</sub>	248
Turbidez	U.N.T	1,52
pH	-	6,67
Aspecto	-	Transparente

Según la Tabla 1 del marco teórico estos valores se encuentran en norma, si alguno de éstos se encontraran por encima de los valores especificados, estos son regulados a través de los tratamientos efectuados en la P.T.A.B.

**Tabla 21.** Resultados del análisis microbiológico efectuados al pozo P.E-2

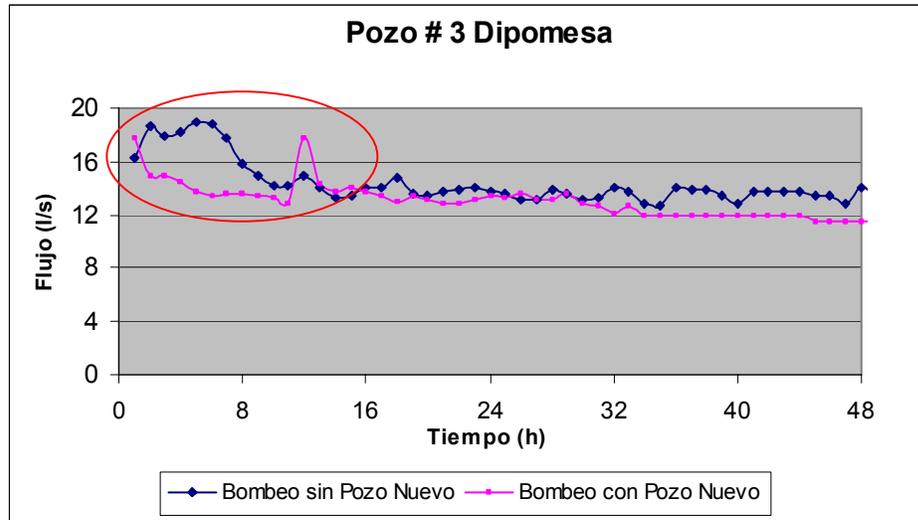
<b>Bacteria</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Coliformes totales	UFC/250 ml	63
Coliformes Fecales	UFC/250 ml	0

De igual manera según la Tabla 2 y el artículo 9 de las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Gaceta Oficial N° 36.395 presentados en el marco teórico, los análisis microbiológicos cumplieron con las especificaciones, no se encontraron coliformes fecales y los coliformes totales se encuentran por debajo de 100 UFC/250 ml.

El cálculo de potencia requerida por la bomba que se utilizará en este pozo se puede apreciar en el anexo 8, arrojando un resultado de una potencia de 22,7hp, esto significa que al pozo le corresponde una bomba de 20hp, pero los ingenieros de la Cervecería decidieron colocar una bomba de 30hp, que se encontraba en el almacén, lo que es perjudicial para el rendimiento del pozo ya que está sobredimensionada.

Entonces, debido a que este pozo fue construido en una zona rodeada de 4 pozos existentes es factible que su producción se vea afectada por la interferencia entre ellos, por esta razón se realizó la prueba de interferencia para determinar las condiciones a las que operaría, a continuación se muestran los resultados :

**Gráfico N° 9 . Comportamiento del Flujo del Pozo # 3 durante la prueba de interferencia**

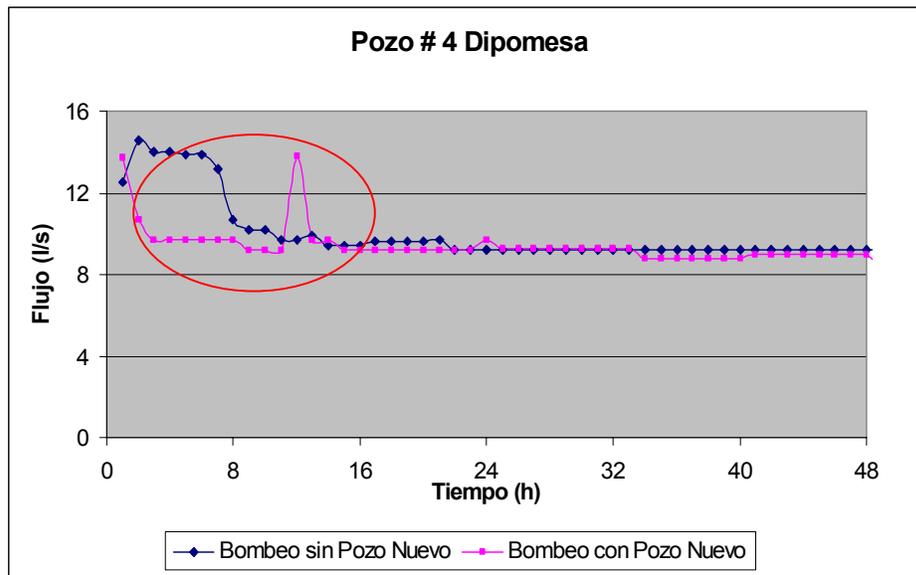


En el presente gráfico se observa una variación en el flujo del pozo #3, sin y con el bombeo del pozo nuevo, produciendo 14 l/s y 12,5 l/s respectivamente, lo que indica una disminución del 11 % de su capacidad total.

El nivel dinámico, desciende con el bombeo del pozo nuevo hasta 8 metros. Cabe destacar que la distancia entre el pozo nuevo P.E-2 y el pozo # 3 es de 111,73 metros, lo que justifica dicha interferencia.

El comportamiento encerrado en el círculo rojo representan fallas en el sistema de bombeo, es decir, paradas y arranques de la bomba causadas por el manejo de los niveles de los tanques de recepción, los cuales no son tomados en cuenta la momento de estudiar la interferencia.

**Gráfico N° 10.** Comportamiento del Flujo del Pozo # 4 durante la prueba de interferencia



La distancia entre el pozo nuevo P.E-2 y el pozo # 4 es de 471,04 metros y se puede observar que a esta distancia los pozos no se interfieren entre sí. El pozo # 4 mantuvo su comportamiento constante en cuanto al flujo (9 l/s) y el nivel descendió sólo 3 metros lo cual es aceptable ya que corresponde a una variación o fluctuación debido al bombeo.

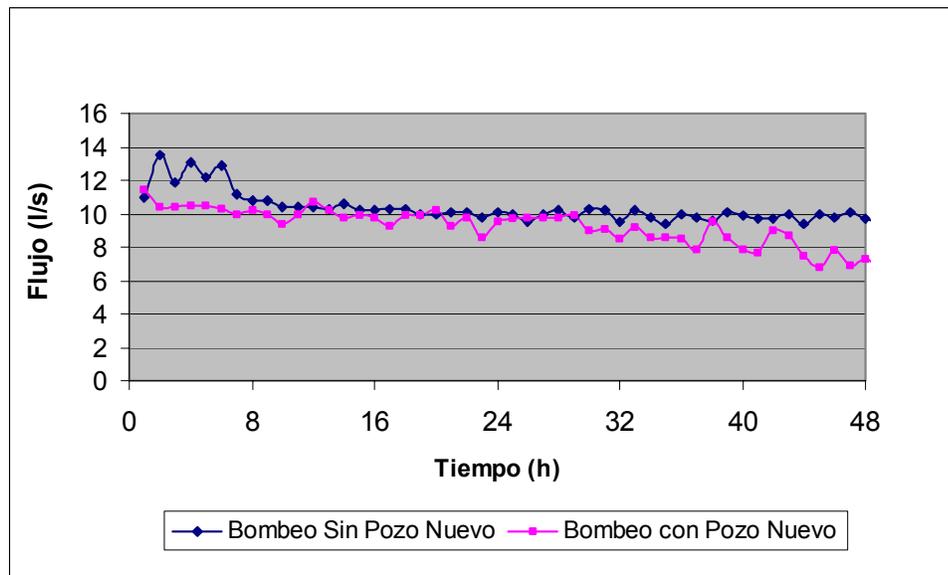
Al igual que en el pozo anterior , el comportamiento encerrado en rojo, representan arranques y paradas de la bomba.

### **Condiciones de los pozos ubicados en los Lotes**

En estudios realizados en años anteriores se demostró que los pozos ubicados en la zona de los Lotes, (pozos # 5,6 y 7) no se interfieren entre ellos, debido a que la distancia que los separa es de 220 metros aproximadamente y más de 220 con respecto a los pozos ubicados en DIPOMESA con los que tampoco se interfieren.

El problema surgió entre la construcción del pozo 1 nuevo y el pozo 5 existente ya que presentan entre sí una distancia menor a los 220m, por lo que se decidió realizar la prueba de interferencia entre ellos la cual se muestra a continuación:

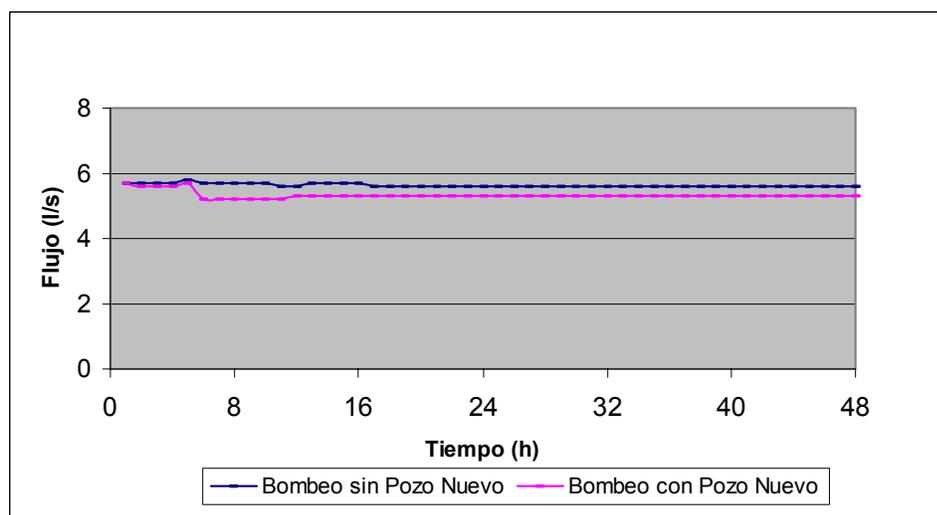
**Gráfico N° 11.** Comportamiento del flujo del pozo # 5 durante la prueba de interferencia.



Efectivamente la variación de flujo en este pozo confirma la interferencia con el pozo 1 nuevo, presentando una merma en su producción del 13% con el bombeo de este pozo nuevo. Lo cual se debe a los 141,50 metros de distancia que los separa.

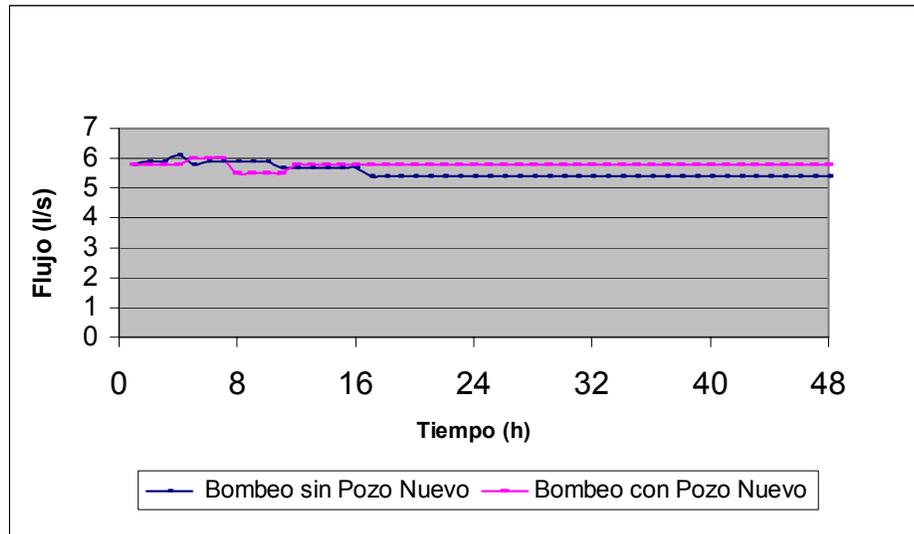
Aunque este pozo 1 nuevo presenta una separación mayor a los 220m con respecto a los pozos #6 y 7, se decidió verificar la interferencia entre ellos realizándoles la prueba, con lo que se obtuvo:

**Gráfico N° 12.** Comportamiento del flujo del pozo # 6 durante la prueba de interferencia



La variación de flujo en este caso se considera despreciable, su flujo promedio de operación es de 5,5 l/s y la distancia que separa a estos pozos es de 343,48 metros.

**Gráfico N° 13.** Comportamiento del flujo del pozo # 7 durante la prueba de interferencia

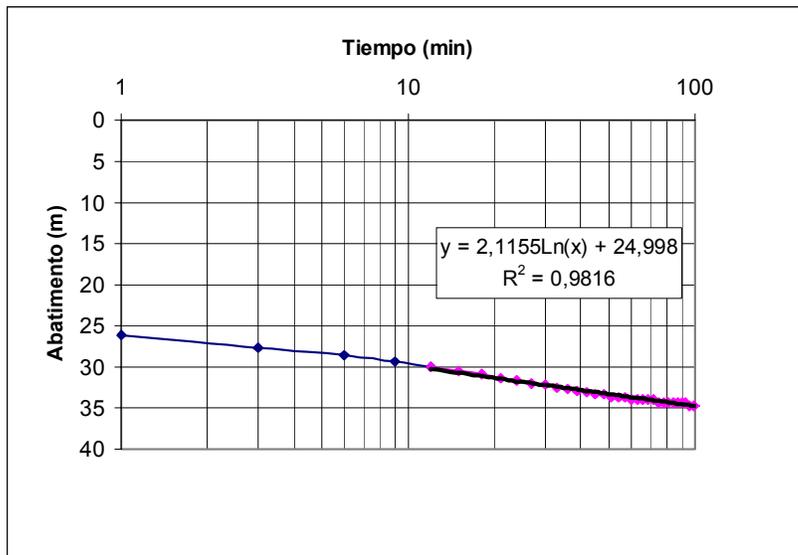


Se puede observar que el comportamiento en el flujo de este pozo, es similar al del pozo # 6, considerándose una variación despreciable, con una separación de 254,77 metros.

Se debe reducir el caudal de operación del pozo nuevo de 19 l/s a 15 l/s para de esta manera disminuir la interferencia con los pozos #3 y 5, y evitar la merma de producción entre los pozos afectados. Esto se logra colocando en la tubería de descarga del pozo una placa orificio de 2 pulg. y los cálculos se pueden ver en el anexo 7. El uso de una placa de orificio tiene la ventaja con respecto a una válvula de que una vez instalada no necesita ser manipulada para regular el flujo ya que este permanecerá constante.

Una vez determinadas las condiciones de operación a las que trabaja el pozo y puesto en marcha su producción, se determinaron su rendimiento mediante la prueba de bombeo con la bomba de 30hp ya instalada, y los resultados se muestran a continuación:

**Gráfico N° 14.** Prueba de bombeo del Pozo 1 Nuevo



**T = 127,39 m<sup>2</sup>/día**

**C = 43,5 m<sup>3</sup>/día /m**

El resultado de la capacidad específica del pozo indica en el que su capacidad productora en un día se encuentra alrededor de 44m<sup>3</sup> por metro de abatimiento ó descenso del agua. Este pozo tiene un flujo de 17 l/s y la transmisividad calculada fue mayor de 120 m<sup>2</sup>/día lo que indica que es un pozo de uso industrial con gran capacidad productora como se había previsto durante la perforación exploratoria.

### **Perforación Exploratoria 3(P.E-3)**

El lugar seleccionado fue el estacionamiento ubicado en el Lote C de la empresa. En este se instaló la maquinaria de perforación donde se perforó hasta 98 metros con una broca de 9 5/8” tomando muestras cada metro del material perforado, predominando las capas arcillosas, con características similares al pozo # 5 mostradas en el anexo 9, por lo que se esperó que no fuese un pozo productivo.

**Tabla 22.** Descripción litológica del material encontrado en PE-3, según la muestras tomadas

<b>Desde (m)</b>	<b>Hasta (m)</b>	<b>Descripción Litológica</b>
0	0,5	Material de relleno
0,5	6	Arena fina con arcillas
6	17	Arena fina
17	25	Arcilla pardo-amarillenta
25	35	Arcilla cuarzosa
35	46	Arcilla limosa
46	52	Arena media cuarzosa
52	54	Arcilla amarillenta
54	62	Arena media con lentes de arcilla
62	66	Arcilla verdosa
66	98	Esquisto grafitoso con presencia de cuarzo no fracturado

Luego se realizó el registro eléctrico que se comparó con las muestras, los rayos gamma confirmaron la abundancia de estratos impermeables como se observa en el anexo 10 y en función de la interpretación de los resultados, se determinó que la proyección de la cantidad de agua no cubría las expectativas de la empresa, y por esta razón se decide terminar la exploración, clausurando y rellenando la perforación.

#### **Perforación Exploratoria 4 (P.E-4)**

Esta exploración se ubicó al Nor-Oeste de DIPOMESA, en donde se perforó hasta llegar al esquisto, ubicado los 72 metros, sin embargo se avanzó hasta los 90 metros ya que el esquisto triturado presentó muestras de cuarzo blanco lo que indica presencia de agua (ver anexo 11).

De las muestras tomadas se encontraron cuatro tramos de arena gruesa cuarzosa indicando por su permeabilidad y porosidad condiciones acuíferas favorables (20-38m, 38-45m, 52-60m, 66-72m). El *Registro Eléctrico* realizado confirmó las características de las muestras encontradas mostradas en el anexo 12, además se comparó con el registro

eléctrico de la PE-3 resultando similares, por lo que se espera que el pozo sea de buen desempeño.

**Tabla 23.** Descripción litológica del material encontrado en PE-4, según la muestras tomadas.

<b>Desde (m)</b>	<b>Hasta (m)</b>	<b>Descripción Litológica</b>
0	0,5	Material de relleno
0,5	10	Arena fina a media
10	13	Arena fina con arcilla
13	20	Arena media a gruesa
20	38	Arena media cuarzosa con presencia de arcilla
38	45	Arena gruesa cuarzosa
45	52	Arena media cuarzosa con presencia de arcilla
52	60	Arena gruesa cuarzosa
60	66	Arena media a fina cuarzosa con presencia de arcilla
66	72	Arena gruesa cuarzosa
72	73	Arcilla grisácea
73	103	Esquisto grafitoso.

Luego se prosiguió a completar el pozo, siguiendo los mismos pasos que en la P.E-2. La compañía contratada propuso un diseño de entubado de manera de lograr el mayor aporte de agua del nuevo pozo, disponiendo de un arreglo de 9 rejillas de ranura continua de 10 pulg. de diámetro, de acero inoxidable y todas N° 40 correspondiendo a la apertura adecuada ya que el material encontrado presentaba el tamaño promedio de 1mm, la profundidad total de pozo fue de 90 metros y el arreglo se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 24.** Diseño del entubado de P.E-4 según las características litológicas

Desde (m)	Hasta (m)	Descripción Litológica	Desde (m)	Hasta (m)	Ubicación de rejilla
0	0,5	Material de relleno	0	39	Tubo ciego
0,5	10	Arena fina a media			
10	13	Arena fina con arcilla			
13	20	Arena media a gruesa			
20	38	Arena media cuarzosa con presencia de arcilla			
38	45	Arena gruesa cuarzosa	39	45	2 Rejilla N° 40
45	52	Arena media cuarzosa con presencia de arcilla	45	51	Tubo ciego
52	60	Arena gruesa cuarzosa	51	60	3 Rejillas N° 40
60	66	Arena media a fina cuarzosa con presencia de arcilla	60	66	Tubo ciego
66	72	Arena gruesa cuarzosa	66	72	2 Rejillas N° 40
72	73	Arcilla grisácea	72	79	Tubo ciego
73	103	Esquisto grafitoso.	79	85	2 Rejilla N°40
			85	90	Tubo ciego

Para finalizar construcción y poner en marcha la producción del pozo se realizó el sello sanitario, el entubado y en gravado de las mismas características del PE-2, para luego ejecutar el desarrollo y la prueba de bombeo cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 25.** Efectividad del método de Pistoneo en el desarrollo de P.E-4

Q (l/s) antes del Pistoneo	Q (l/s) después del Pistoneo
3,80	12

Se puede observar que antes de realizar el desarrollo el caudal de 3,8 l/s se debía a que las paredes del pozo se encontraban tapadas por el lodo de perforación impidiendo el paso de agua hacia el mismo, y luego del desarrollo se observa la mejoría.

**Tabla 26.** Resultados de la prueba de bombeo preliminar de P.E-4

Q (l/s)	N.E (m)	N.D (m)	Abatimiento
14,8	22	78,9	56,9

De igual manera que el pozo PE-2 el alto valor del nivel dinámico se compensa con la producción del pozo con un caudal de 14,8 l/s, por lo que se espera el buen desempeño de este pozo.

**Tabla 27.** Resultados del análisis físico-químico efectuado al pozo de P.E-4

<b>Característica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Alcalinidad	ppm CaCO <sub>3</sub>	132
Dureza	ppm CaCO <sub>3</sub>	144
Turbidez	U.N.T	1,52
pH	-	6,32
Aspecto	-	Transparente

Según la Tabla 1 del marco teórico estos valores se encuentran en norma, si alguno de éstos se encontraran por encima de los valores especificados, estos son regulados a través de los tratamientos efectuados en la P.T.A.B.

**Tabla 28.** Resultados de análisis microbiológico efectuados al pozo P.E-4

<b>Bacteria</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Coliformes totales	UFC/250 ml	20
Coliformes Fecales	UFC/250 ml	3

Según el artículo 9 de las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Gaceta Oficial N° 36.395 presentado en el marco teórico, los análisis microbiológicos no cumplieron con las especificaciones, ya que se encontraron coliformes fecales y totales, pero cumplen con las especificaciones de la Cervecería Polar mostradas en la Tabla 2.

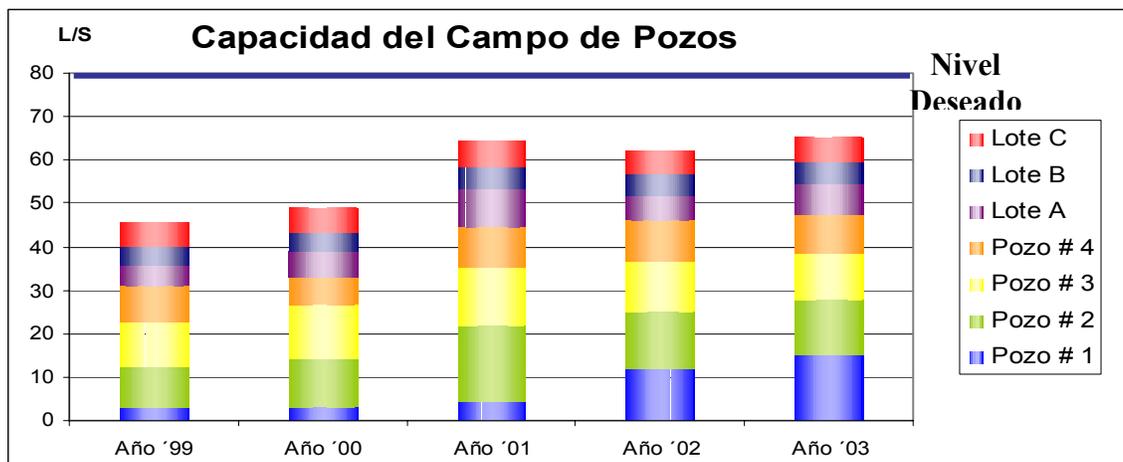
El cálculo de la potencia requerida por la bomba que se debe utilizar en este pozo se puede apreciar en el anexo 13, el valor obtenido fue de 15,31hp, por lo que la requerida era de 20hp, pero Empresas Polar decidió emplear una de 30hp que estaba en almacén, con lo que se comete un error grave ya que el sobredimensionamiento alcanza el doble de la potencia requerida. Actualmente este pozo no ha sido culminado para su puesta en marcha, por lo que se recomienda colocar una placa de orificio para restringir el flujo y minimizar el impacto de la potencia de ésta bomba que además se reflejaría con una gran interferencia en la zona de Dipomesa.

Para finalizar podemos decir que los trabajos de perforación y la cantidad de horas/hombres empleadas pudieron ser ahorradas si se hubiese efectuado la exploración mediante el método de “Resistividad”, con el que se logra conocer que tipo de estratos existen sin necesidad de perforar, pero la compañía contratada solo ofrecía el método de perforación exploratoria, donde se piensa que es por motivos de dinero.

En todas las perforaciones exploratorias se utilizó como lodo de perforación arcilla plástica debido a sus propiedades de arrastre y suspensión de sólidos, protección contra derrumbe y sellado de las paredes del orificio socavado, además de enfriar las mechas y lubricar la tubería de perforación, con la gran ventaja de su fácil remoción.

Estos trabajos de perforación y construcción de nuevos pozos no alcanzaron el objetivo previsto que era llegar a una producción total del campo de pozos de 80 l/s. Se puede observar en el siguiente gráfico que para el año 2002 existe un aumento en la producción del pozo 1 debido a su reemplazo y la disminución de la producción total del campo de pozos para el mismo año se debe a la falta de mantenimiento preventivo a los pozos antiguos.

**Gráfico N° 15** Capacidad de producción de los pozos de los últimos 5 años.



Aunque no se ha incluido el pozo de P.E-4 para la evaluación del campo de pozos, con la incorporación de éste tampoco se alcanzaría la producción total deseada ya que este pozo produce un caudal 14 l/s el cual debe ser reducido al menos a 12 l/s para reducir su

interferencia con los pozos vecinos. Por lo que se recomendará la construcción de un nuevo pozo.

### ***Evaluación de los parámetros de operación del campo de pozos***

A continuación se muestran los resultados obtenidos experimentalmente de la operación del campo de pozos. Algunos de estos gráficos están presentados en su data o formato de origen, como el comportamiento de pozos, en pantallas del programa FIX . En estos gráficos, el eje de las abscisas representan el nivel en metros y el flujo en litros por segundo, y el eje de las ordenadas el tiempo, en horas y en días.

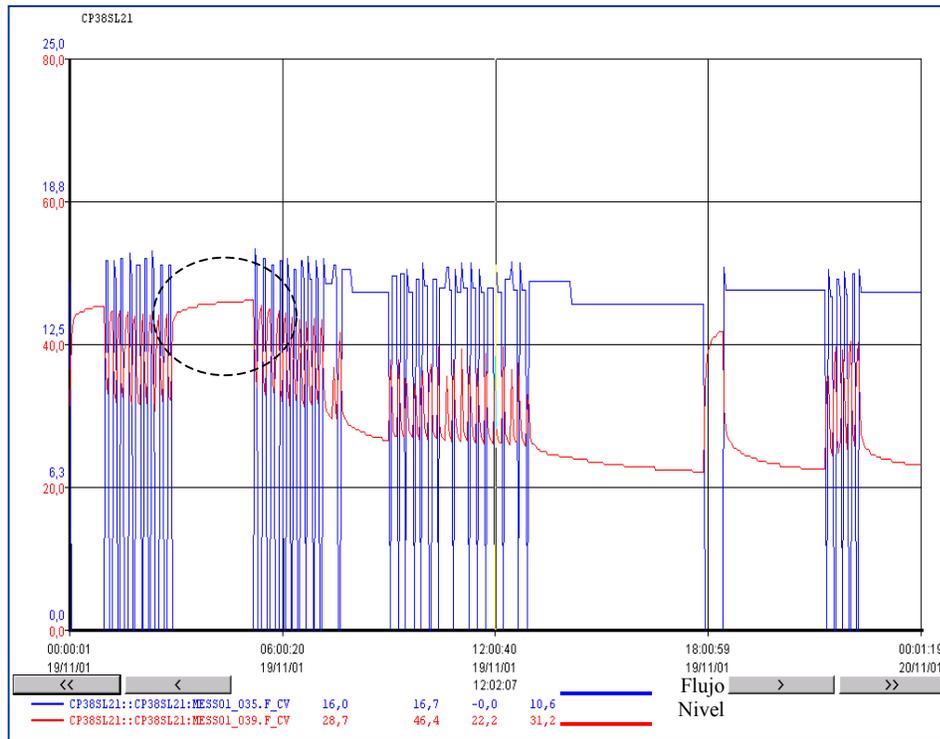
### ***Comportamiento de los pozos con el modo de operación actual***

En las semanas de observación del funcionamiento del sistema de recepción, se confirmó que la operación de los pozos se encuentra regida por los niveles de los tanques. Cuando tanque B se encuentra en el nivel de llenado de 95%, se detiene la bomba que le suministra agua desde tanque A, a éste tanque se le sigue suministrando agua de los tanques Dipomesa, Lotes y la dotación municipal. Cuando tanque A se encuentra por encima de los 2,30 metros de altura, se detiene la dotación hacia este tanque proveniente de los tanques anteriores, los cuales se llenan por encima de 1,50 metros y automáticamente paran los pozos por alto nivel de los mismos. Cabe destacar que la dotación municipal opera en continuo y sólo se regula manualmente cuando la demanda agua por parte de las áreas es menor a 100 m<sup>3</sup>/h.

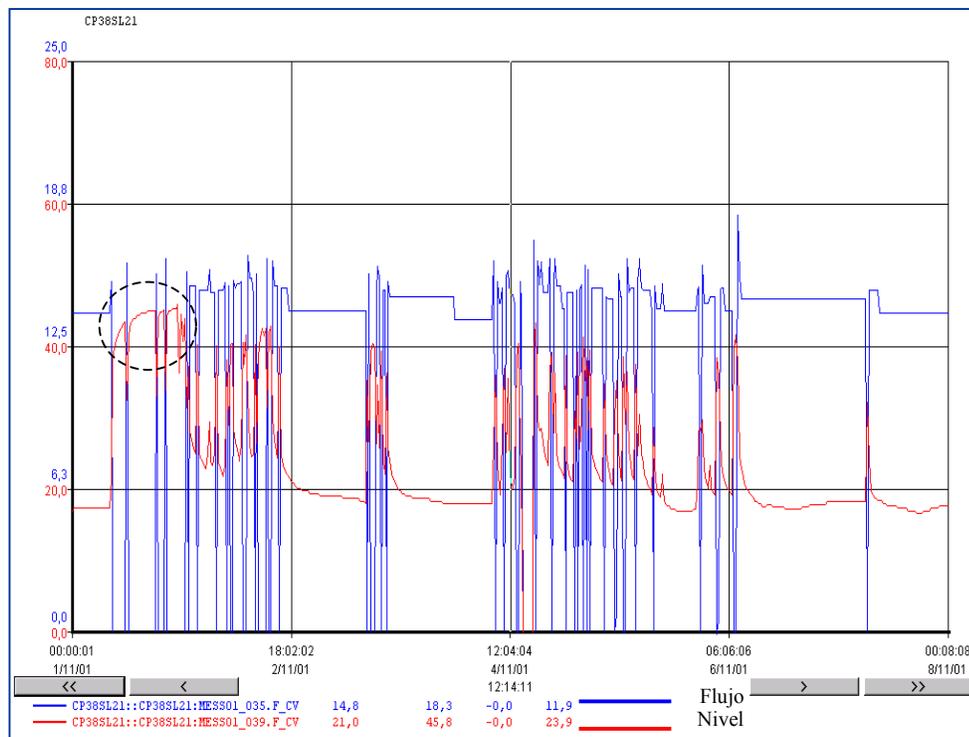
La operación inversa comienza cuando el tanque B desciende a 90% a causa de la demanda de agua de las áreas, es decir, se encienden los pozos, se llenan los tanques Dipomesa, Lotes y tanque A y se llena tanque B a 95% nuevamente. Este comportamiento sucede varias veces al día, todas las semanas.

Los gráficos presentados a continuación son el resultado del estudio previo del modo de operación del sistema de recepción.

**Gráfico N° 16. Comportamiento del pozo # 2 en un día de Operación**



**Gráfico N° 17. Comportamiento del pozo # 2 en una semana de Operación**

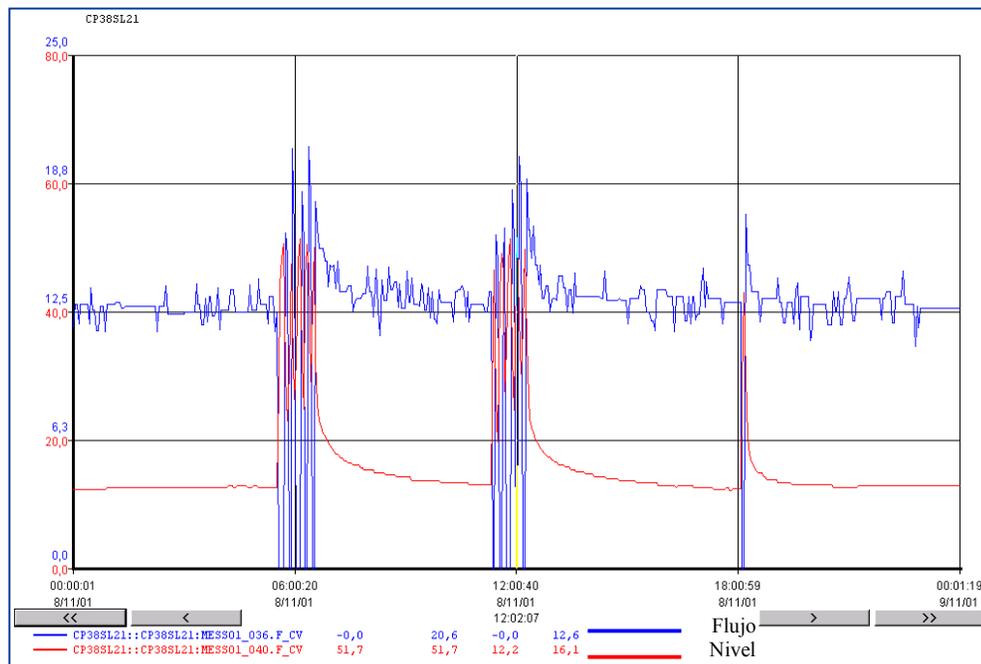


Los gráficos 15 y 16 mostrados describen la operación del pozo # 2, las líneas azules indican el flujo y las rojas el nivel en donde la discontinuidad observada en estos gráficos representadas por los picos constituyen las frecuentes paradas y arranques de las bombas de los pozos.

En la zonas punteadas de los gráficos 15 y 16, no se observa flujo y el nivel se encuentra en forma cóncava, lo que indica que el pozo se encuentra parado, cuando esto sucede el nivel de bombeo se detiene y comienza a ascender hasta estabilizarse y quedarse estático, como se puede observar esto último no sucede porque el pozo vuelve a arrancar.

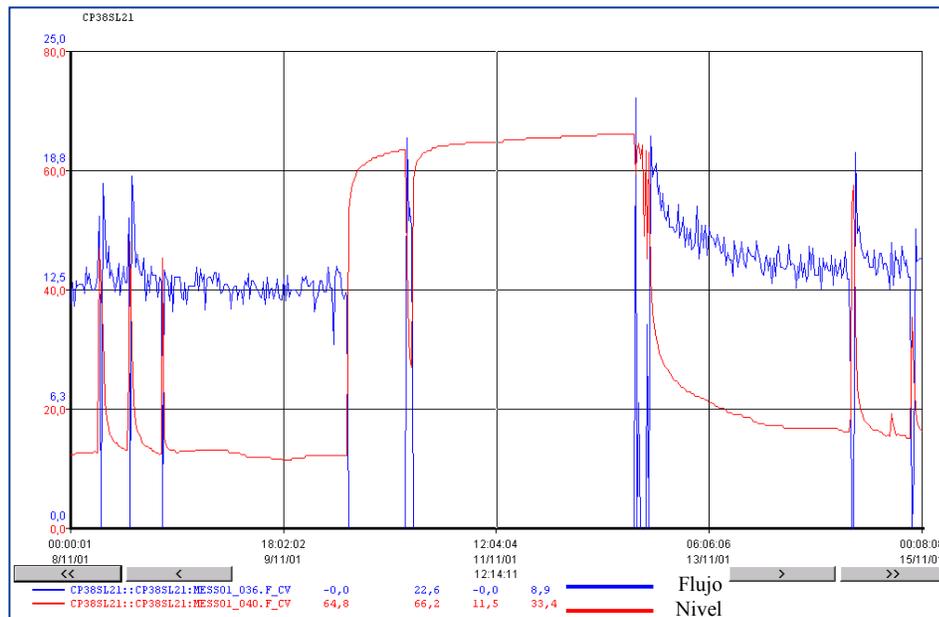
En el gráfico 15 se observa una operación continua desde las 12:10 m hasta las 18:00 pm, 6 horas de operación sin paradas, comportamiento que se debió a la alta demanda de agua por la Cervecería en ese período de tiempo.

**Gráfico N° 18.** Comportamiento del pozo # 3 en un día de Operación



De igual manera que el pozo anterior, el pozo # 3 presenta discontinuidad en su operación. En este día de operación es difícil cuantificar las paradas, ya que como se puede observar en el gráfico 17, éstas fueron muy seguidas.

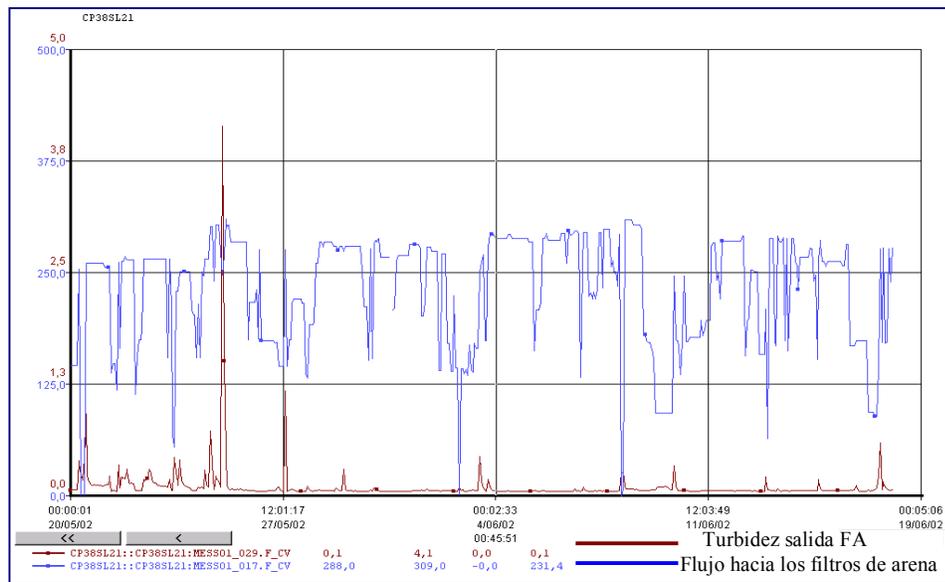
**Gráfico N° 19.** Comportamiento del pozo # 3 en una semana de Operación



Se puede observar en este gráfico que el pozo estuvo parado por 2 días, desde el 10/11/01 hasta el 12/11/01, esta parada no es reflejo de la operación, el pozo estuvo parado por problemas con la bomba como se puede observar en el comportamiento fluctuante de la línea azul. Sin embargo en los días antes y después de la revisión de la bomba, el comportamiento es inestable.

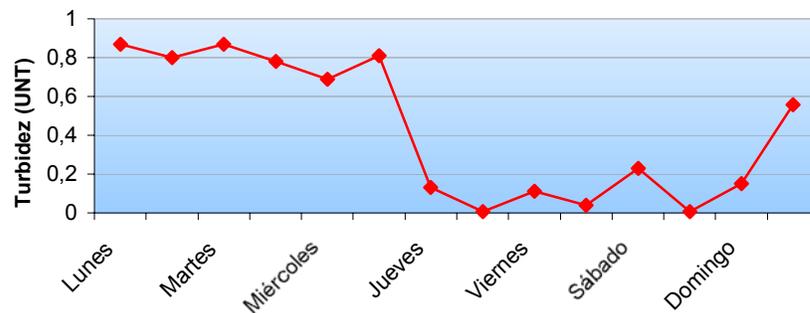
Esta inestabilidad en la operación la presenta cada uno de los pozos del sistema de recepción, lo que confirma la necesidad de crear una herramienta para optimizar la operación de manera que se eliminen éstas fallas.

**Gráfico N° 20.** Evaluación de la turbidez a la salida de los filtros de arena.



Los filtros de arena se encuentran antes de la entrada al tanque B. Como se puede observar en el gráfico 19, existen fugas de turbidez, ya que los valores se encuentran por encima de 1 UNT, las cuales ocurren por las variaciones del caudal dentro de los filtros. Esta variación de caudal es producida por el encendido y apagado de los pozos.

**Gráfico N° 21.** Comportamiento de la turbidez en el tanque B



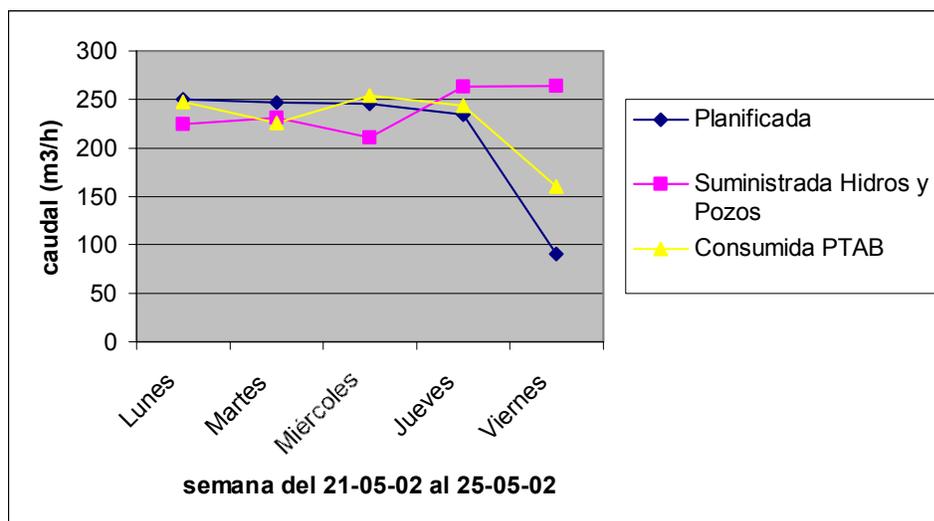
Este gráfico representa la turbidez del agua una semana antes del comienzo de las pruebas para desarrollar la herramienta de optimización de operación de pozos, y como se mencionó anteriormente, el tanque B tienen un volumen de 10 MM de m<sup>3</sup>, por lo tanto, al recibir el agua de los filtros de arena, esta no afecta en mayor proporción la turbidez dentro del tanque, manteniéndose por debajo de 1 UNT. Sin embargo los valores presentados en el gráfico 20 indican una inestabilidad en la turbidez variando de 0 a 0,9 UNT; considerando que este último es un valor alto dentro del tanque B.

Una vez conocido el modo de operación del sistema de recepción mostrado en la figura 3, se realizan las pruebas calculando los requerimientos de agua por área.

*Requerimiento de agua por área*

Por medio de las ecuaciones II y III se calculó el agua requerida semanalmente por envasado y elaboración. Luego con el plan de consumo se planificó el agua que se suministraría durante esa semana, contemplando el uso de 40% (Hidro I e Hidro II) y 60% pozos del requerimiento total, seleccionado los pozos que estarían en funcionamiento para dicho requerimiento. Una vez suministrada el agua, al día siguiente se revisaron los contadores para verificar el agua que realmente se consumió. Los resultados de este estudio se muestran a continuación:

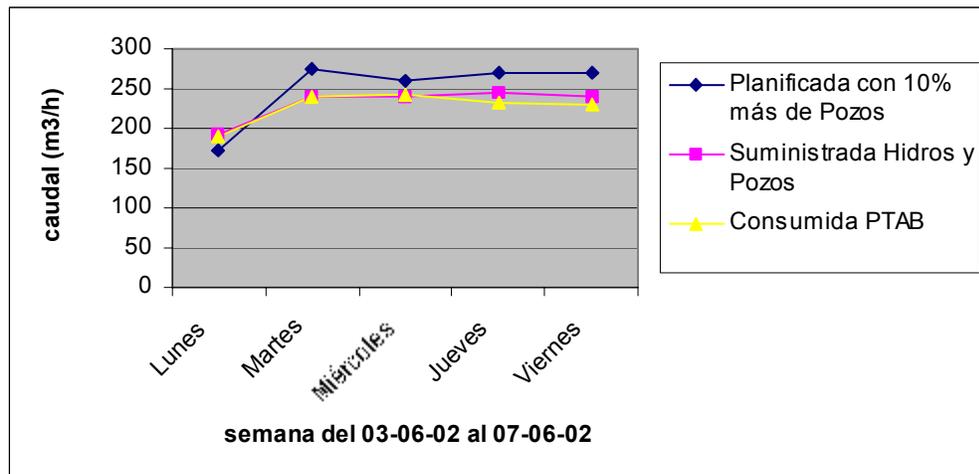
**Gráfico N° 22.** Comparación del agua planificada versus la suministrada



Como se puede observar en el gráfico 21, el agua planificada estuvo por encima de la consumida los dos primeros días de esa semana, mientras que desde el día miércoles presentó un descenso progresivo hasta el día viernes donde se observó una diferencia de 28% de error entre el agua planificada y la consumida. El agua suministrada presenta este comportamiento ya que esta influenciada por los operadores de PTAB, quienes al observar que el nivel del tanque B descendía, suministraron más agua de la planificada.

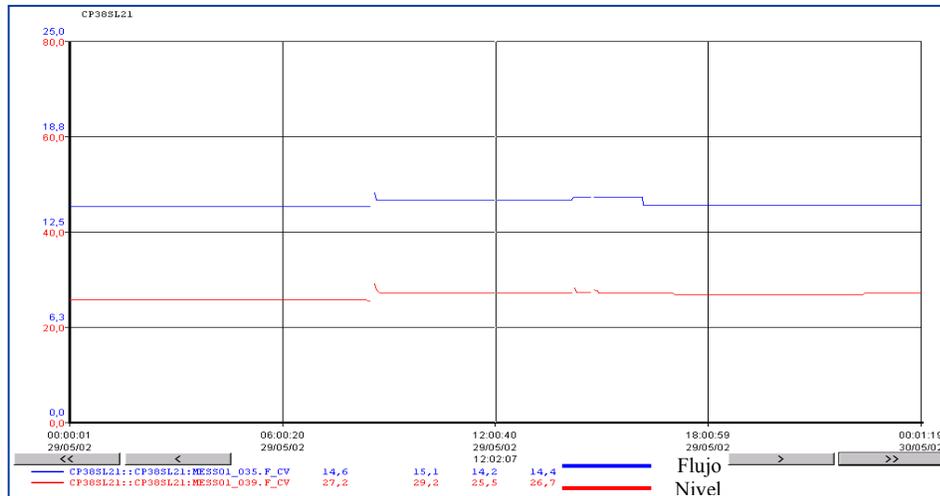
La siguiente semana de prueba se comportó de la misma manera y la subsiguiente arrojó los siguientes resultados:

**Gráfico N° 23.** Comparación del agua planificada versus la suministrada

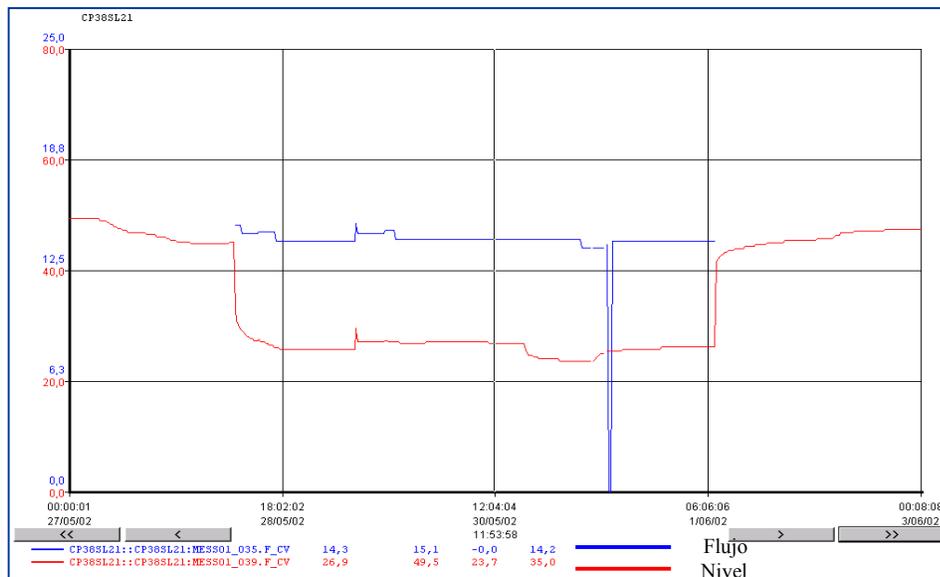


En este gráfico se observa la corrección ya que debido al comportamiento observado en el gráfico 21 se decidió aumentar el agua planificada en un 10%, donde este excedente fue extraído de los pozos, en este caso el agua planificada estuvo por encima tanto de la suministrada como de la consumida, aunque las tres presentaron el mismo comportamiento. Cabe destacar que planificando el agua disminuye la inestabilidad en el bombeo de los pozos reduciendo a su vez la turbidez y el consumo de energía como se muestra a continuación.

**Gráfico N° 24.** Comportamiento del pozo # 2 en un día de Operación, bajo el plan de consumo

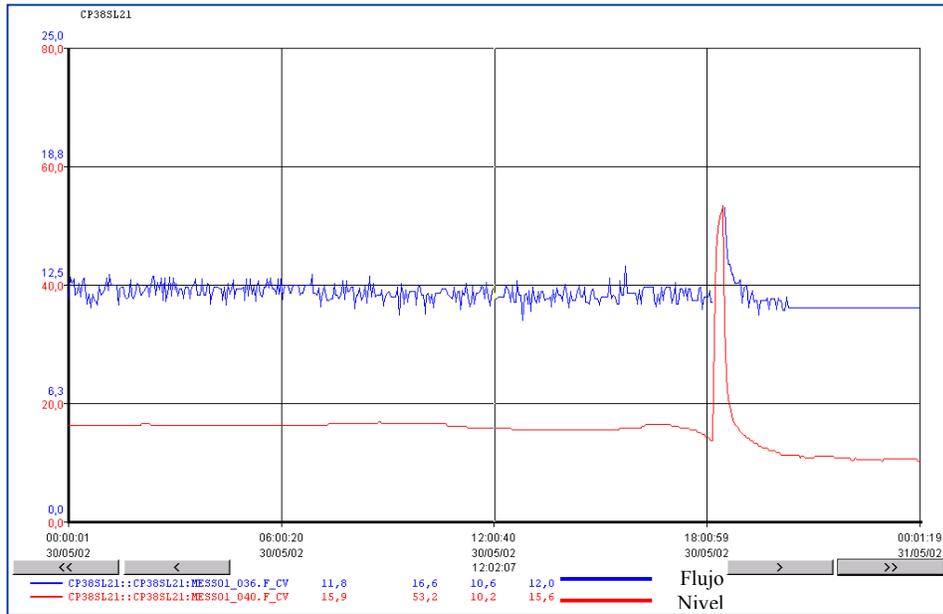


**Gráfico N° 25.** Comportamiento del pozo # 2 en una semana de Operación, bajo el plan de consumo.

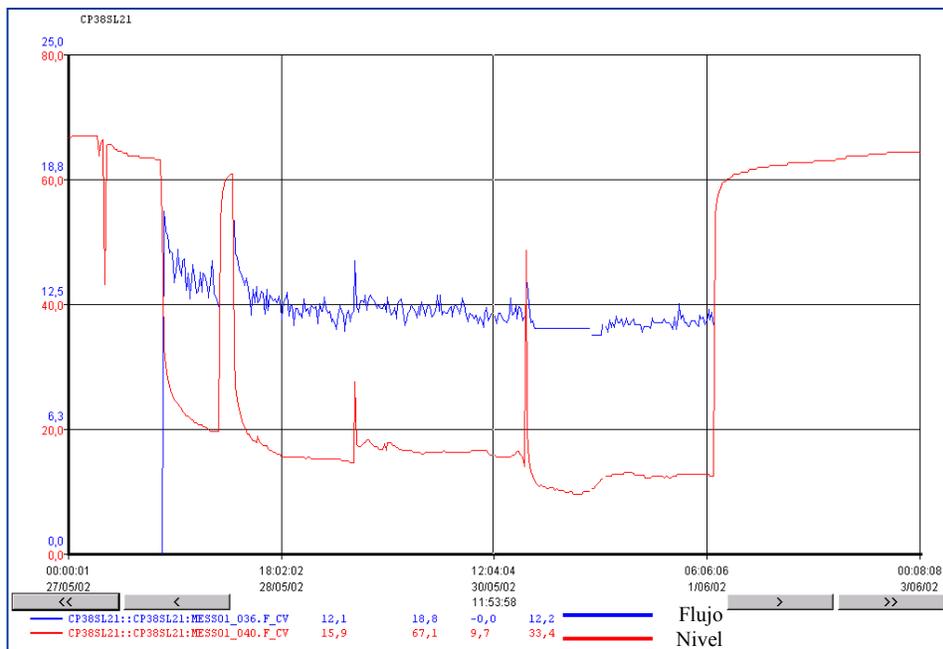


En estos gráficos correspondientes al pozo #2 se puede observar que en un día de operación no tuvo ninguna parada y en una semana solo presento dos paradas.

**Gráfico N° 26. Comportamiento del pozo # 3 en un día de Operación**



**Gráfico N° 27. Comportamiento del pozo # 3 en una semana de Operación**

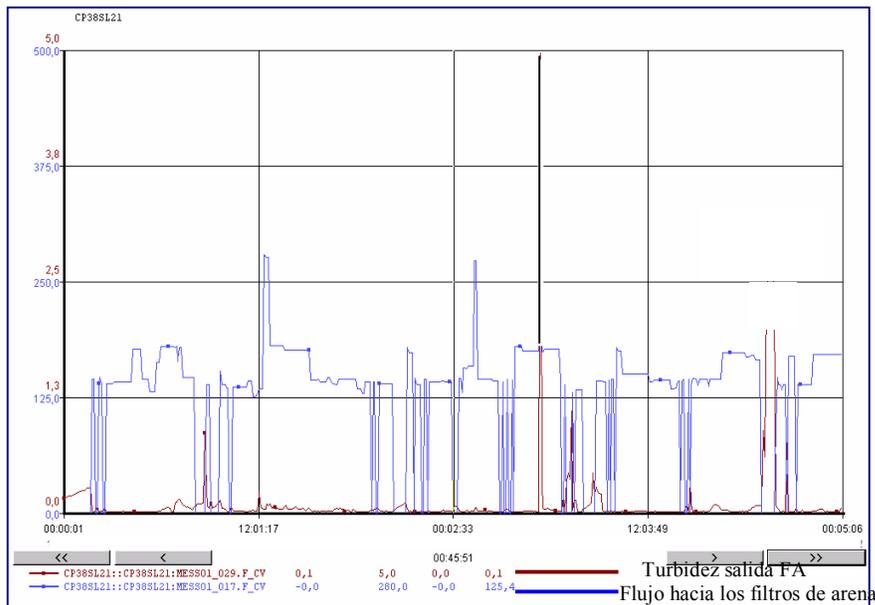


De igual modo, el pozo # 3 presentó una disminución notable de paradas, lo que significa una mejora en cuanto a su operación.

En el gráfico 25 se puede observar que el flujo se mantiene constante en 12 l/s, pero con pequeñas fluctuaciones, estas no obedecen a la operación del pozo, si no a fallas en el equipo de bombeo.

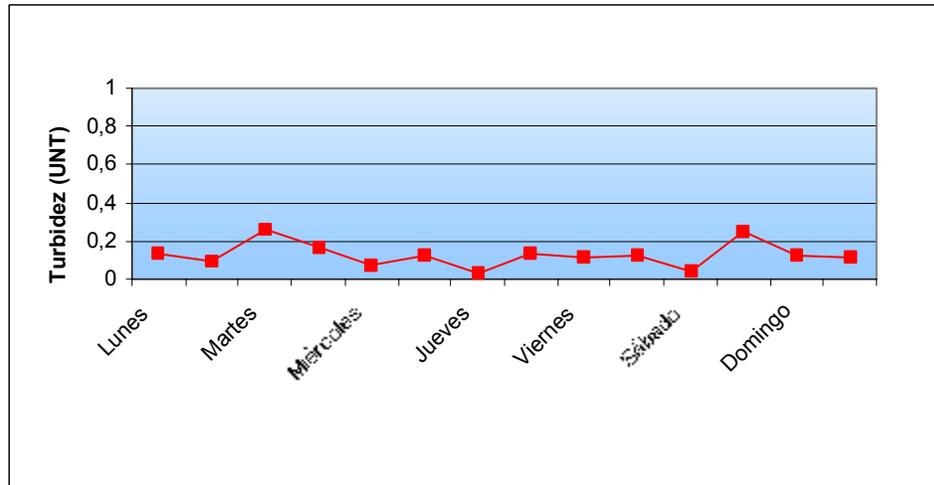
La estabilidad en el comportamiento de los pozos observada en los gráficos anteriores, fue la misma en el resto de los pozos de la Cervecería, lo que trajo como consecuencia una disminución en la turbidez en la salida de los filtros de arena y en el tanque B, como se muestra a continuación:

**Gráfico N° 28.** Comportamiento de la turbidez a la salida de los filtros de arena con el plan de consumo



En las semanas de operación de pozos con el plan de consumo, la turbidez en la salida de los filtros de arena disminuyó notablemente, aunque todavía se observan fugas, estos valores son menores a 2 UNT, lo que afecta notablemente a la turbidez en el tanque B.

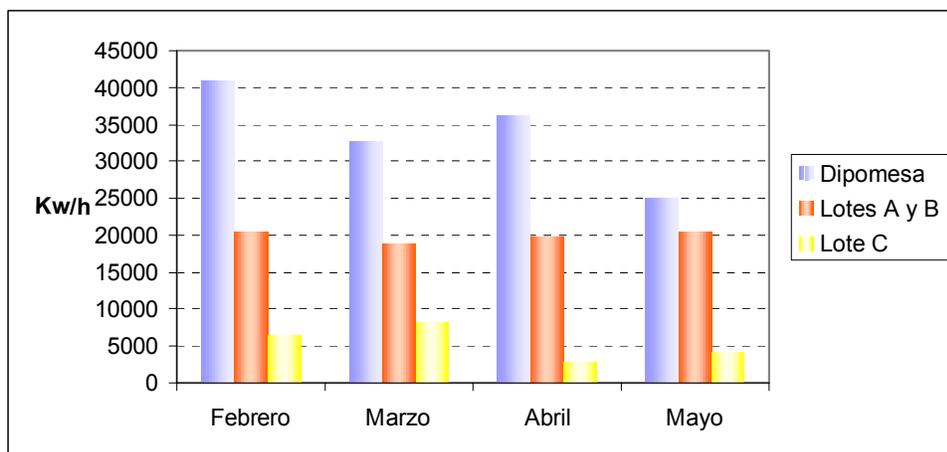
**Gráfico N° 29.** Comportamiento de la turbidez en el tanque B con el plan de consumo



Con la aplicación del plan de consumo, los pozos operaron de manera continua como se observó anteriormente, con una disminución notable de paradas y arranques de los equipos de bombeo. Esto trae como consecuencia menor arrastre de sólidos hacia los filtros de arena y por ende menor turbidez. Este comportamiento se observó durante las semanas de pruebas. Comparando este gráfico con el gráfico 16 se puede observar una disminución en la turbidez del tanque B de 70 %.

Con la disminución de las paradas y arranques de los equipos de bombeo de los pozos se obtuvo una disminución en el consumo de energía, como se muestra a continuación.

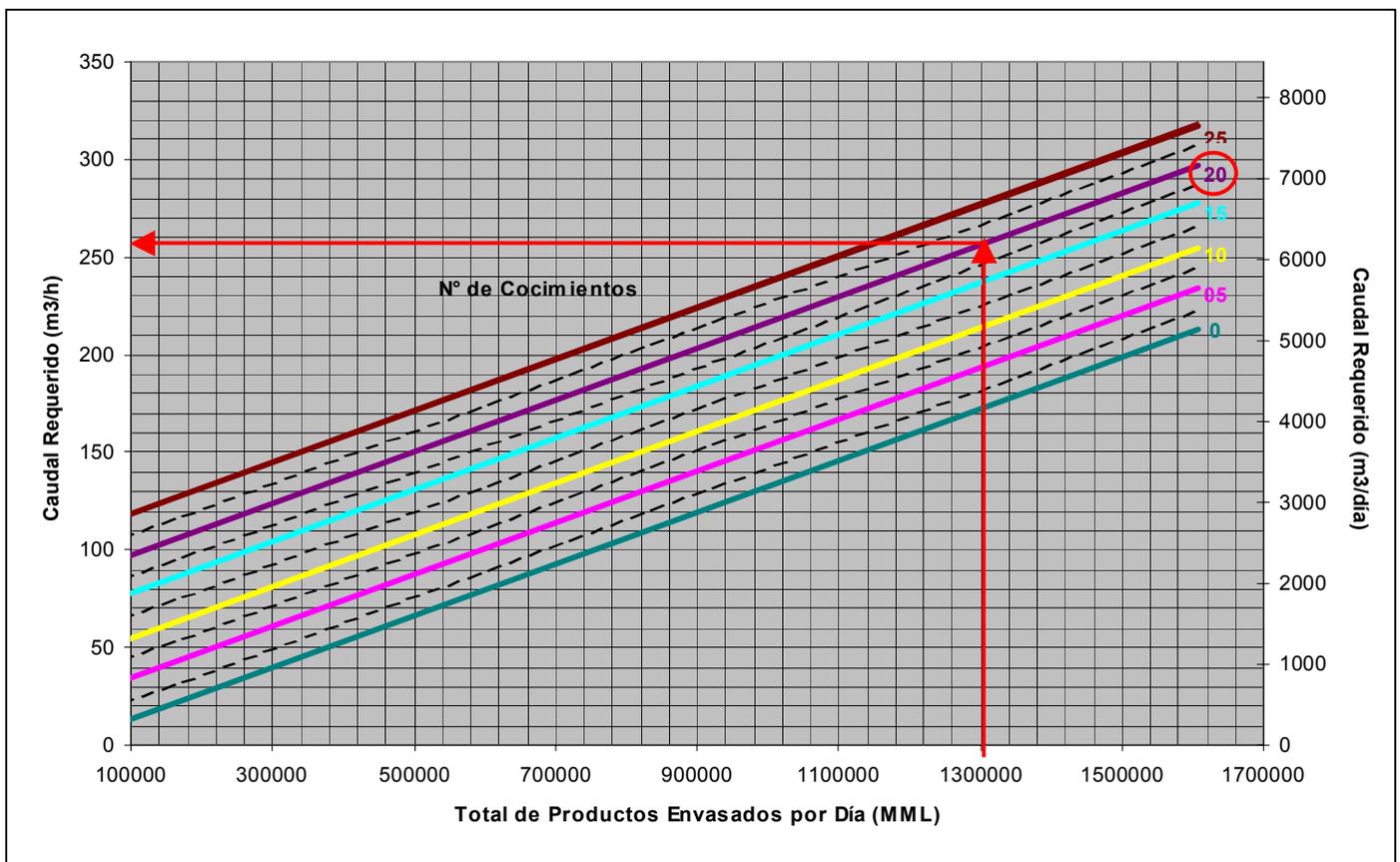
**Gráfico N° 30.** Consumo de energía de los pozos por áreas



En el área de Dipomesa (pozos #1,2,3 y 4) disminuyó el consumo de energía en 31,8% con respecto al promedio de los últimos tres meses. En el área de lotes A y B (pozos 5 y 6 respectivamente) el consumo se mantuvo en el mismo orden. En el lote C (pozo 7), el consumo bajó en 27,85% con respecto al promedio de los tres meses anteriores, esto es atribuible a las pruebas de selección y administración del campo de pozos mediante la herramienta de optimización de la operación del sistema de recepción.

Ahora bien, una vez finalizado el estudio de todos los resultados obtenidos en cada uno de los pozos, se procedió a efectuar un nomograma para facilitar a los operadores la tarea de poder calcular la cantidad necesaria de agua que se debe suministrar a las diferentes áreas. Éste se utiliza buscando en el eje X de la cantidad de producto envasado por día, subiendo perpendicularmente hasta coincidir con el número de cocimientos y luego en el punto de corte se traza una horizontal hasta el eje Y donde la lectura suministra del caudal requerido.

**Grafico N° 31.** Nomograma para calcular el caudal requerido por día



Entonces para conocer de manera práctica como se maneja el nomograma se expondrá un ejemplo:

Para un día en el que se requiera envasar 13MMl (eje X)de producto :Pilsen, Solera, Ice, Light o Maltín, y sean necesarios veinte cocimientos (diagonales), entonces: por medio de una línea vertical (línea roja) subiendo desde valor de 13MM se intercepta con la diagonal correspondiente a 20 cocimientos y luego desplazándose por medio de una línea horizontal desde el punto de corte hasta el valor en el eje Y donde se reporta el valor del caudal requerido que para este caso es  $255\text{m}^3/\text{h}$ .

A continuación se presenta, el modelo de operación del Plan de Consumo mediante el diagrama:

DIAGRAMA	PASO	ACCIÓN
<pre> graph TD     INICIO([INICIO]) --&gt; 1((1))     1 --&gt; 2{2}     2 -- No --&gt; A[/A/]     2 -- Si --&gt; 3((3))     3 --&gt; 4((4))     4 --&gt; 5((5))     5 --&gt; 6((6))     6 --&gt; 7((7))     7 --&gt; 8((8))     8 --&gt; 9((9))     9 --&gt; 10{10}     10 -- Si --&gt; B[/B/]     10 -- No --&gt; C[/C/]         </pre>	1	<b>Operador / Personal de PTAB</b> Revisar el nivel del Tanque B
	2	¿Nivel mayor a 70%?
	3	Consultar el Programa Semanal de Producción, suministrado por la Gerencia de Envasado
	4	Sumar los litros por día de producto a envasar (Pilsen, Solera ,Ice, Light, Maltín) correspondiente al día de programación
	5	Consultar el Programa Semanal de Cocimientos y anotar el número de cocimientos del día de programación.
	6	Ir al Nomograma de Plan de Consumo de Agua Diario
	7	Entrar al eje “X” del nomograma con la cantidad total de productos a envasar por día, (calculado en el paso 2)
	8	Trazar una línea vertical, hasta interceptar con la línea del número de cocimientos del día de programación, (determinado en el paso 3)
	9	Desde el punto de intercepción, trazar una línea horizontal hacia la izquierda y leer en el eje “Y”, la cantidad de agua requerida por día en (m <sup>3</sup> /h).
	10	¿Desea el caudal en (m <sup>3</sup> /día)?

DIAGRAMA	PASO	ACCIÓN
<pre> graph TD     B[B] --&gt; 11((11))     C[C] --&gt; 12((12))     11 --&gt; 12     12 --&gt; 13((13))     13 --&gt; 14((14))     14 --&gt; 15((15))     15 --&gt; 16{16}     16 -- Si --&gt; 17((17))     16 -- No --&gt; 20((20))     17 --&gt; 18{18}     18 -- Si --&gt; 19((19))     18 -- No --&gt; 20     19 --&gt; 20     20 --&gt; D[D] </pre>	11	Trazar una línea horizontal hacia la derecha desde el punto de intercepción hasta el eje “Y” secundario y leer el caudal en (m <sup>3</sup> /día).
	12	Asignar el 40% del caudal requerido a las aducciones de Hidrocapital (Hidro I , Hidro II)
	13	Asignar el 60% restante a los pozos de agua subterránea .
	14	Seleccionar un número de pozos tal que la suma de sus caudales sea igual al 60% del caudal requerido.
	15	Seleccionar un pozo de <b>EMERGENCIA</b> , que funcione como reserva en el caso que llegara a faltar agua de las aducciones
	16	¿Falta caudal por las aducciones de Hidrocapital?
	17	Encender el Pozo de <b>EMERGENCIA</b>
	18	¿Hay racionamiento por parte de Hidrocapital?
	19	Encender todos los Pozos
	20	Continuar con el Plan de Consumo de agua original regido por los pasos anteriores 11,12,13 y 14.

DIAGRAMA	PASO	ACCIÓN
<pre> graph TD     A{A} --&gt; 21((21))     21 --&gt; 22((22))     22 --&gt; 23((23))     23 --&gt; FIN([FIN])     D{D} --&gt; FIN </pre>	21	Seguir los pasos desde 3 hasta el 14
	22	Incorporar el pozo de <b>EMERGENCIA</b> del punto 15 , al grupo de pozos seleccionados para operar en el punto 14.
	23	Seleccionar otro pozo de emergencia llamado <b>EMERGENCIA 2</b> . Que funcione como reserva en caso que el nivel del tanque B descienda.

### Criterios de Operación

- ✓ No operar un pozo por más de tres días continuos, para no sobre explotar su capacidad.
- ✓ No dejar parado un pozo por más de 1 semana para evitar contaminación del mismo.
- ✓ En caso de que haya una falla o una parada imprevista de alguno de los pozos seleccionados en el Plan de Consumo Diario, encender el pozo de **EMERGENCIA**.
- ✓ Mientras se esterilice un filtro, encender el pozo de **EMERGENCIA**, para evitar un descenso brusco del nivel del Tanque B. Apagarlo cuando finalice la esterilización.

Estos son los criterios que se deben considerar al momento de ejecutar el Plan de Consumo Diario, para asegurar el abastecimiento del agua requerida sin afectar negativamente la operación de los pozos.

## CONCLUSIONES

A continuación se presentan las deducciones de los resultados de la realización de éste trabajo

- ✓ El buen desempeño productor de un pozo se fundamenta en su diseño, principalmente al tipo de rejilla y su ubicación, así como la determinación de la bomba adecuada, este logrará que el pozo opere en forma óptima al mismo tiempo que se prolongará su vida útil.
- ✓ Se comprobó la gran efectividad del método de pistoneo para desarrollo de pozos
- ✓ El método de perforación exploratoria es el más seguro para conocer la existencia de un acuífero productor, con la desventaja de su costo.
- ✓ De 4 perforaciones exploratorias solo se construyeron 2 pozos, por las características del acuífero.
- ✓ No todas las perforaciones exploratorias ratifican la construcción de un pozo.
- ✓ Si el material recolectado en el muestreo en su mayoría corresponde a gravas y arenas gruesas, hay indicios de agua .
- ✓ Si el material fracturado grueso encontrado posee fragmentos de cuarzo triturado y oxidado, hay agua en abundancia.
- ✓ El pozo # 3 presenta una disminución 10 % del nivel dinámico y 11 % del flujo, debido a que el pozo nuevo lo interfiere.
- ✓ El pozo nuevo no afecta ni el nivel ni el flujo del pozo # 4.
- ✓ El pozo nuevo interfiere al pozo # 5, presentando una merma en su producción del 13%.
- ✓ Los pozos de los lotes (#6 y #7) no se ven interferidos con el pozo nuevo.

- ✓ Se redujo el caudal del pozo #1 nuevo de 19 l/s a 17 l/s para mantenerlo constante debido a la interferencia
- ✓ Se realizó un Plan de consumo diario ,el cual mejoró el comportamiento de los pozos en cuanto a nivel y flujo, eliminado la inestabilidad en la operación de las bombas reduciendo el consumo de energía y disminuyendo la turbidez en al tanque B.
- ✓ El consumo de energía disminuyó en Dipomesa 31,8% y en lotes 27,85% al planificar la operación del campo de pozos .
- ✓ La turbidez en el Sistema de Filtración se ve afectada por los cambios de flujo diario regidos por el plan.

## RECOMENDACIONES

Para mejorar los procedimientos y metodologías antes expuestas se presentarán las siguiente sugerencias:

- ✓ Para la ubicación de pozos nuevos se debe considerar una distancia mayor a 200 metros ya que a distancias menores se produciría interferencia con pozos existentes, por cuanto se debe revisar la Gaceta Oficial N° 36.298, donde se indica que la distancia mínima entre pozos de ser mayor a 50 metros.
- ✓ Se recomienda el uso de arcilla plástica como lodo de perforación por su rapidez de fraguado y su fácil remoción de las paredes del pozo.
- ✓ La profundidad de los pozos debe llegar hasta 6 metros después del *esquisto* sólo para colocar la bomba, ya que es un material muy duro y por lo general no aporta agua.
- ✓ Se recomienda realizar las pruebas de interferencia y bombeo al pozo de P.E-4 antes de su puesta en marcha.
- ✓ Estudiar la posibilidad de montar placas de orificios que regulen y mantengan constante la producción tanto de pozos nuevos como de pozos existentes
- ✓ Construir un nuevo pozo para alcanzar el nivel deseado de 80 l/s con el fin de autoabastecer la Cervecería sin la necesidad de sobreexplotar los pozos existentes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BAEZ, Augusto. Comunicación Personal.2001
2. CRANE .” Flujo de fluidos en Válvulas ,Accesorios y Tuberías”. Mc Graw Hill. México.1992
3. DE SOLA , Oswaldo y Colaboradores. “Desarrollo de Aguas Subterráneas”. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1967
4. FLETCHER DRISCOLL. “Groundwater and Wells”, 2º Edición Johnson División, Saint Paul, Minesota .1987.
5. CERVECERÍA POLAR LOS CORTIJOS, Gerencia Nacional de Tratamiento de Aguas Industriales. C.A. Caracas. Documentos Históricos de los Pozos(1958 a la fecha).
6. GIBSON Y SINGER. “ Manual de Pozos Pequeños”, 7º edición Editorial Limusa-Noriega. México. 1990.
7. GUEVARA, Mariana. “Optimización del Sistema de Agua Filtrada en Cervecería Polar” (Trabajo de Grado) Universidad Metropolitana, Caracas 2001.
8. <http://200.5.162.5:8002>. GOTAS “Aguas Subterráneas”. Página disponible en Intranet de Empresas Polar
9. <http://www.roscoemoss.com/español>
10. JOHNSON SCREENS. “El Agua Subterránea y los Pozos “ Publicaciones Johnson Screens. U.S.A .1975.
11. MORAO, Dinorah. “Evaluación y Optimización del Funcionamiento de Pozos Subterráneos de Agua” (Trabajo de Grado), Universidad Metropolitana, Caracas 1998

12. SANTANA, Luis. “Estudio de las Alternativas para la Disminución de Fósforo en los Efluentes Industriales de Cervecería Polar Los Cortijos”(Trabajo de Grado) Universidad Central de Venezuela. Caracas 2002.

13. REPÚBLICA DE VENEZUELA. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social “Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable”. Gaceta Oficial N°36.395 .1998

14. REPÚBLICA DE VENEZUELA. Ministerio de Sanidad y Asistencia Social “Normas para la Ubicación, Construcción, Protección, Operación y Mantenimiento de Pozos Perforados Destinados al Abastecimiento de Agua Potable”. Gaceta Oficial N°36.298 .1997

**ANEXOS**  
(Archivo Anexos)