



**V Seminario Latinoamericano de Irrigación**  
**IIII Jornadas Venezolanas de Riego**

Caracas, 20 al 31 de Octubre de 1968  
COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA

Tema III  
Doc. Nº 30

EL BOMBEO DE AGUA SUBTERRANEA EN EL VALLE  
DE QUIBOR. DETALLES DE OPERACION Y COSTOS

Trabajo presentado por:  
Ing. J. M. Ochoa P.  
VENEZUELA

C.A. CENTRAL TOCUYO  
EL TOCUYO - EDO. LARA

EL BOMBEO DE AGUAS SUBTERRANEAS

EN EL VALLE DE QUIBOR:

DETALLES DE OPERACION Y COSTOS.

TRABAJO PRESENTADO ANTE EL V SEMINARIO  
LATINOAMERICANO DE IRRIGACION Y III -  
JORNADAS VENEZOLANAS DE RIEGO.  
OCTUBRE 1.968

ING. CIVIL JOSE MARIA OCHOA P.

"ENTONCES EL COJO SALTARA COMO UN CIERVO,  
Y LA LENGUA DEL MUDO CANTARA;  
PORQUE AGUAS SERAN CAVADAS EN EL DESIERTO  
Y TORRENTES EN LA SOLEDAD"

ISAIAS

CAP. 35 - VERS. 6

I N D I C E

I.- INTRODUCCION

II.- LOS ACUIFEROS DE QUIBOR:  
ASPECTOS GENERALES.

III.- EQUIPOS DE BOMBEO:  
CARACTERISTICAS Y COSTOS.

I.- INTRODUCCION.-

El presente trabajo analiza una serie de factores que influyen en la eficiencia de los riegos que se practican actualmente en el Valle de Quíbor, en base al bombeo de agua subterránea.

La zona específica donde se ha tomado datos de costos de operación - corresponde a las haciendas de la S. A. La Guadalupeana.

El agua subterránea es el recurso de riego más importante con que - cuenta hasta ahora el Valle de Quíbor. La explotación en gran esca- la de los acuíferos del Valle de Quíbor se inició en el año 1959, a raíz de un estudio hidrológico preliminar realizado por el Central - Tocuyo con el fin de auspiciar el incremento de las zonas de cultivo de caña de azúcar, dentro del radio de acción de la factoría. Al po- nerse en operación los primeros campos de pozos profundos el ejemplo cundió en toda la colectividad y proliferaron las perforaciones en - todo el ámbito del Valle. Ello trajo naturalmente un desequilibrio entre la recarga natural de los acuíferos y el ritmo de explotación.

En consecuencia, surgió un proceso de merma o recesión de la tabla - de agua o capa freática el cual fué muy agudo durante un cierto perio- do para hacerse más benigno en los últimos tiempos.

La dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas - hizo un estudio detallado de los acuíferos de Quíbor en el período - 1961 - 1963 el cual fué publicado en 1.963 . siendo el primer in- forme de envergadura sobre aguas subterráneas hecho en Venezuela has- ta entonces.

El Central Tocuyo ha mantenido una constante atención en cuanto a la estabilidad de este recurso y en diversas oportunidades ha hecho ges- tiones ante los organismos de gobierno para plantear la estabiliza- ción de los acuíferos mediante posibles obras de recarga o reinyec- ción artificial, tomando aguas decantadas de las avenidas de las que- bradas o ríos intermitentes. Otras gestiones hechas han tenido por objeto reglamentar la explotación de las aguas subterráneas en Quíbor.

.../...

Igualmente, el Central se ha unido a la colectividad quiboreña para plantear la conveniencia de estudiar y contruir la obra del Yacambú, la cual implica la construcción de un dique de concreto en un desfiladero muy angosto de roca y un túnel de pequeño diámetro de 23 kiló metros de longitud para el transvase de más de 10.000 litro/segundo a las vastas planicies áridas de Quíbor y La Ruezga en las vecindades de Barquisimeto. La Obra del Yacambú significa la transformación de un % muy apreciable de las zonas áridas larenses. A la vez garantiza el futuro suministro del núcleo urbano de Barquisimeto y de paso estabiliza la explotación de los acuíferos en el sector norte del Valle, con la infiltración de las láminas de agua de riego en la porción Sur del Valle.

Como se sabe, en las zonas de riego de gravedad suele infiltrarse de un 30% a un 50% del volumen bruto de agua que se aplica y ello significa un aumento en las capas freáticas, con lo que se crea automáticamente un recurso adicional, que permite ampliar las zonas de riego por gravedad concebidas originalmente.

De no aprovecharse el agua infiltrada, surgen a la larga los problemas de drenaje y salinidad por afloramiento del manto freático. En Pakistan y la India el uso de agua de gravedad sin el debido acompañamiento de zonas de bombeos está resultando hoy día en la pérdida por salinidad de 300.000 Has. por año, en los grandes sistemas de riego del río Indus.

Vemos entonces que Yacambú significa para Quíbor riego de gravedad, estabilización de los acuíferos e incremento de las zonas de bombeo. Antes de pasar al tema específico de los bombeos en La Guadalupeana, queremos hacer un llamado en el sentido de que los organismos de planificación hagan un esfuerzo más grande en obsequio del riego de las tierras áridas. Ciertamente, dentro de tales ecologías no se logran las más de las veces superficies contiguas y grandes tipo "mesas de billar" donde se puede jugar a voluntad con el agua, trazando canales idóneos de regimen subcrítico. Desgraciadamente, en las zonas

.../...

áridas de Venezuela las tierras de riego se presentan casi siempre en superficies contiguas de unas pocas miles de hectáreas aquí, unos pocos centenares de hectáreas allá. A ciertos intervalos se pueden dar sectores erodados que ciertamente no facilitan el trazado de los canales y así otras dificultades. Pero en cambio sobrarán siempre las ventajas propias de una zona árida: control absoluto del clima por el hombre al tener dotación de agua, ausencia de problemas de drenajes con la lluvia, facilidad para trabajar todo el año y lograr varias cosechas con cultivos de corto período y fertilidad de suelos muy poco lavados por la lluvia. Principalmente, al regar una zona árida se estaría creando una riqueza nueva la cual no puede darse si no hay el agua. Hay regiones donde una economía agrícola<sup>6</sup> agropecuaria puede subsistir sin el riego. En la zona árida el riego lo es todo. Si no hay obra de riego, no hay nada. Con la obra de riego en la zona árida el impacto económico es total, la transformación económica se palpa cual aguda arista de un sólido geométrico.

En Quíbor por lo pronto, se está cavando agua en el desierto. La tabla de agua está bajando lentamente y es de esperarse que surjan medidas legislativas que reglamenten la explotación de un recurso que hoy por hoy, está sobregirado. Queda la esperanza que más adelante, el esfuerzo de técnicos y hombres públicos rescate ese gran recurso que se pierde en las estrechas gargantas del Yacambú, ese torrente que corre en la soledad. Entonces el agua abundará arriba y abajo, en el desierto. Entonces el cojo saltará como un ciervo y la lengua del mundo cantará.

.../...

## II.- LOS ACUIFEROS DE QUIBOR; ASPECTOS GENERALES.-

Los acuíferos del Valle de Quíbor ocupan una extensión de 270 Km<sup>2</sup>. - muy aproximadamente. En esta superficie el volumen de reservas llega a unos 140-150 millones de m<sup>3</sup>. de agua extraíble. La capa freática está profunda (70 mts. o más) en la parte sur del valle (Proximidades de la ciudad de Quíbor) y bastante llana 5 a 10 metros o menos en el extremo Norte del Valle, el punto topográficamente más bajo - donde se producen afloramientos del manto y formación de manantiales. En el centro del Valle se da un efecto de marcada depresión o fosa tectónica en el basamento de roca, y el relleno de valle tiene una profundidad de 250 metros o más. En realidad el depósito aluvional donde están ubicados los acuíferos representa el relleno de una antigua cuenca lacustrina, por los acarreos aportados por las quebradas - y ríos intermitentes que bajan al valle de Quíbor de las montañas que lo circundan.

Como ya se indicó con anterioridad, la explotación de los acuíferos - produjo bajas notables de la tabla de agua en los primeros años. En los últimos años la merma o recesión de la capa freática es mas benigna. Esto tiene la explicación siguiente:

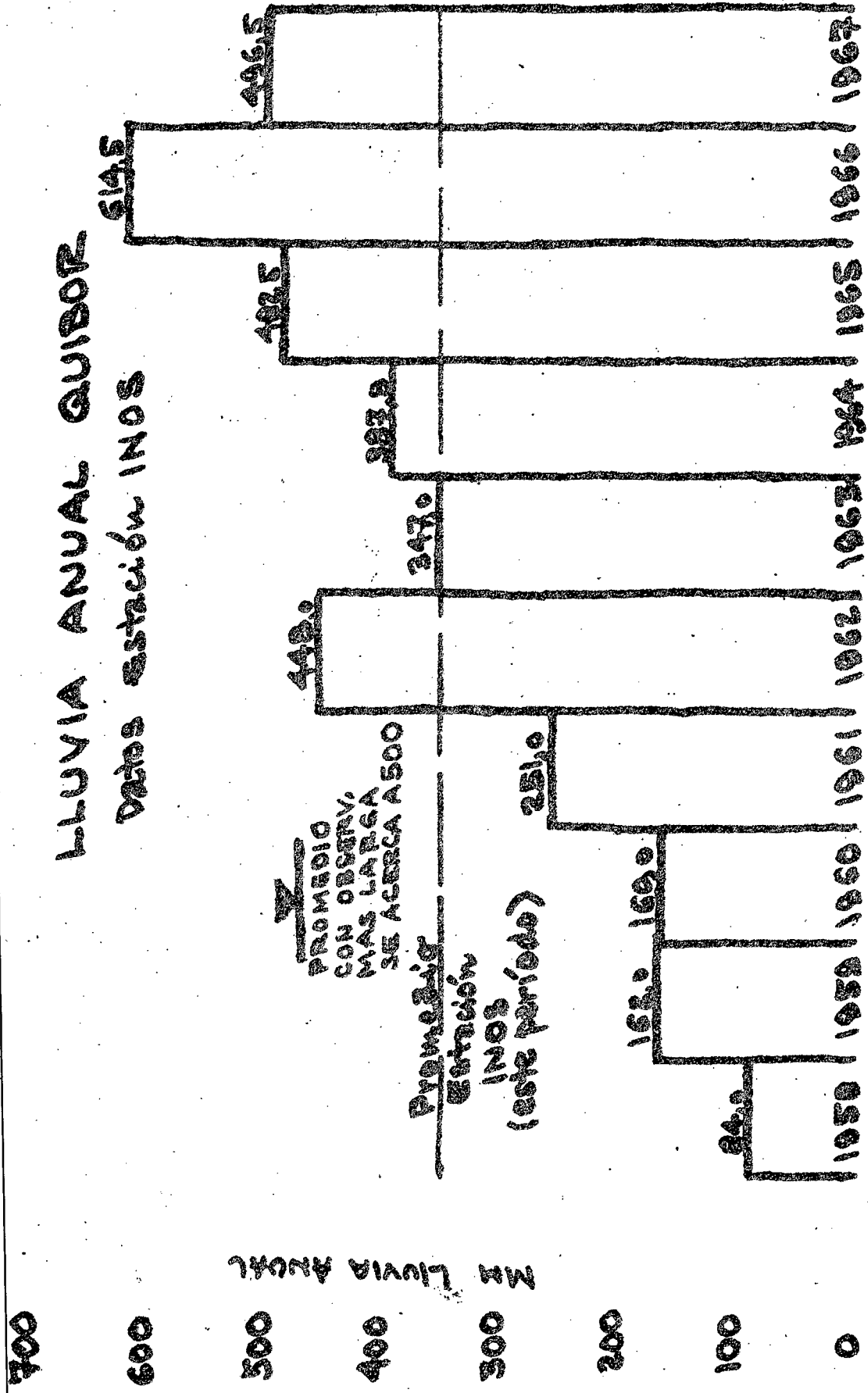
- 1) El período 1958-1964 se caracterizó por una relativa escasez de lluvia, con precipitaciones por debajo del promedio. Aumentó la demanda de agua y el bombeo y disminuyó la recarga natural de los acuíferos, la cual se debe a infiltración de las aguas que bajan de las - montañas por los cauces de drenaje de la región. A partir de 1965 - la lluvia no sólo se normalizó sino que inclusive se dió una abundancia. Disminuye el riego y disminuye el bombeo a la par que aumenta - la recarga natural.
- 2) La misma caída del manto freático conlleva una condición de equili - brio: <sup>la</sup> baja del manto aumenta la carga de operación de los rodetes de las bombas y claro está, al aumentar la carga hidráulica disminuye - el caudal.

.../...

3) Una nueva modalidad esta surgiendo a última hora en el valle de Quíbor: en muchas partes se interceptan las avenidas de las quebradas secas - guardándose los volúmenes respectivos en lagunas grandes o aplicándose las mismas al riego copioso de los campos. En esta forma se deja de bombear e inclusive se recargan los acuíferos con las infiltraciones - del agua de gravedad importada de las quebradas. Esencialmente es esta la técnica denominada "Water-Spreading" (Tendido del agua) en inglés.

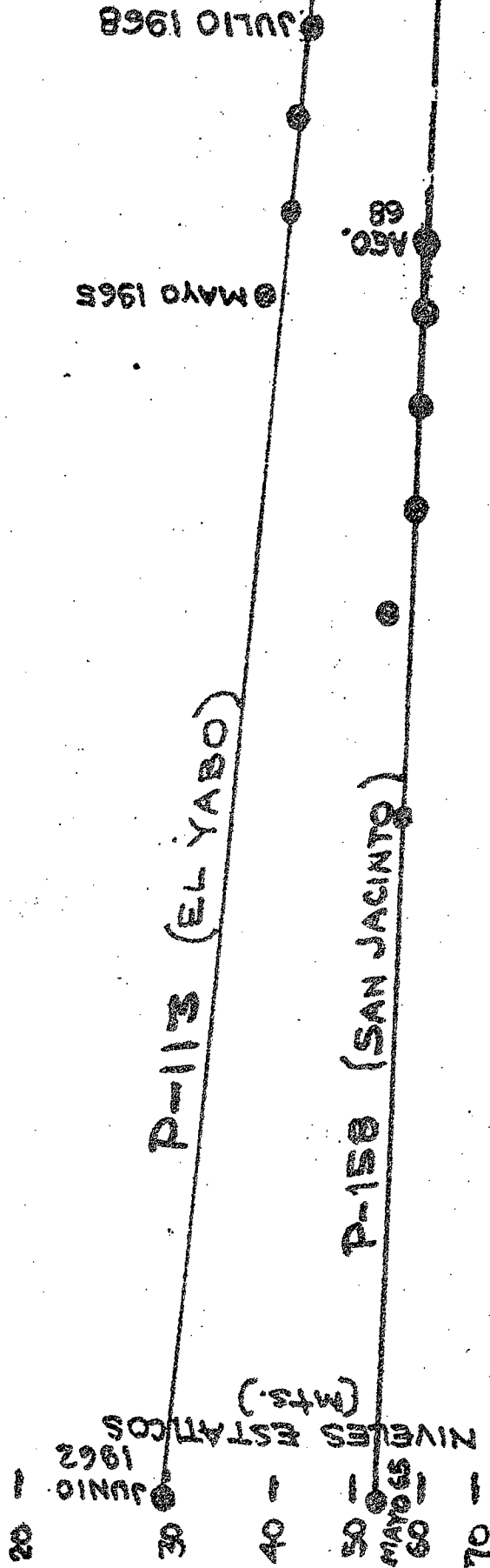
El gráfico de la página siguiente muestra la distribución de la lluvia en Quíbor en los últimos años. Se advierte el largo período veranoso o seco desde el año 1958 hasta el año 1964.

La página 7 muestra las tendencias recesivas de los acuíferos en dos zonas de bombeo de La Guadalupeana. Se observa una declinación lenta - en los niveles estáticos.



NOTA: Se estima un promedio entre 400 y 500 mm. con un período más largo de observaciones.

TENDENCIAS RECESIVAS  
ACUIFEROS GUADALUPANA



-7-

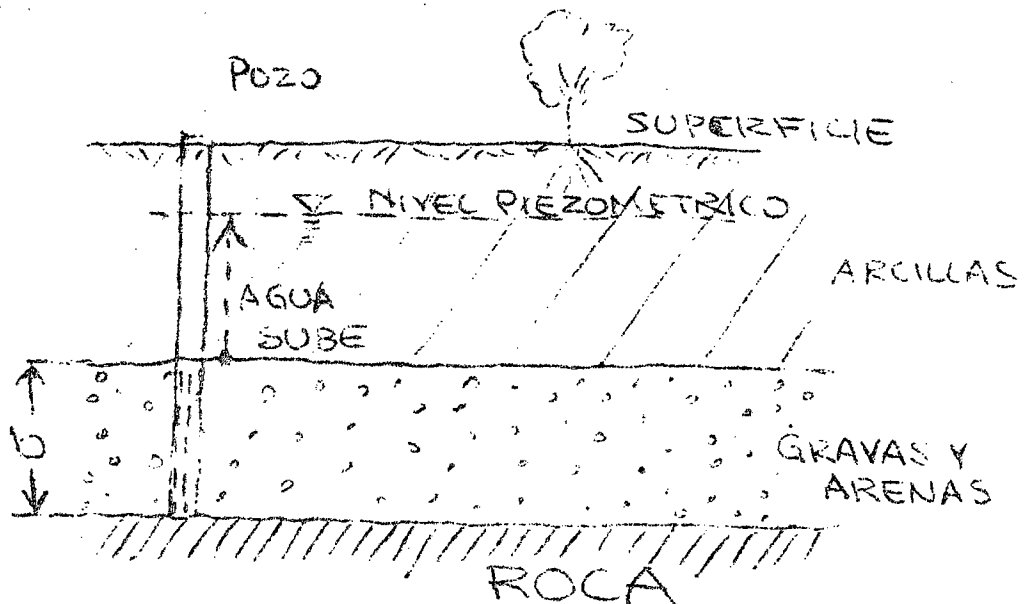
0,1 AÑO

40 AÑO

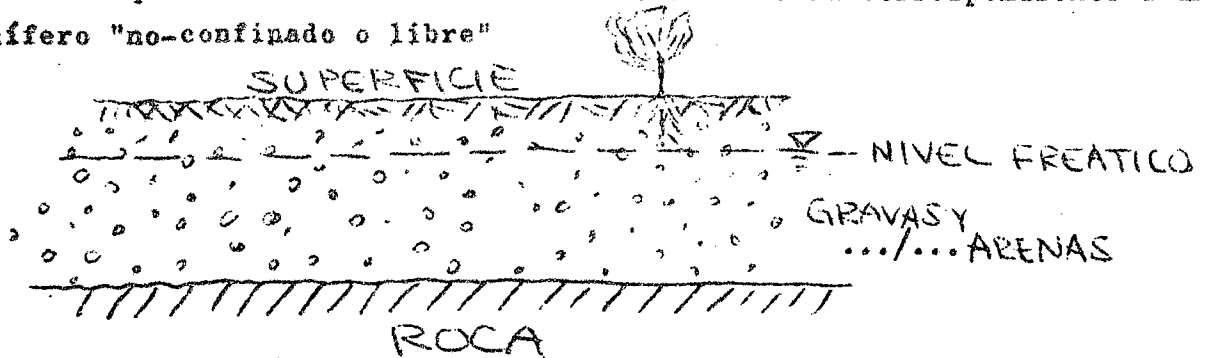
10,0 AÑOS

MAGNITUD DE LA SOBRE-EXPLORACION ACTUAL

El acuífero de Quíbor es en gran parte (por lo menos en un 80% del área) un acuífero confinado. Esto quiere decir que no existe un manto freático que ocupa un cierto nivel de saturación en gravas y arenas, sino más bien un manto piezométrico, un nivel del agua que está confinado por capas impermeables que yacen sobre las gravas y arenas saturadas. Al perforar un pozo atravesando estas capas impermeables el agua salta hasta ocupar el plano piezométrico correspondiente:



Obsérvese que esta condición es bien distinta de la correspondiente a un acuífero "no-confinado o libre"



Supongamos que baja la tabla de agua (o la piezometría) 1 m ( $\Delta Z$ ) en un año, un poco más del orden de magnitud que se advierte por el análisis de la recesión. Evidentemente esta baja representa un drenaje considerable en la condición de acuífero no confinado ya que está produciéndose un drenaje libre de las gravas y arenas. Tal capacidad de drenaje suele acusar un 15% del volumen evacuado o afectado por la baja y se le denomina "Rendimiento Específico" SY. En cambio si baja la piezometría 1 m ( $\Delta Z$ ) en el acuífero confinado se verá que lo que ha cambiado es virtualmente la presión ... el espesor b de la capa acuífera sigue igual, aparentemente. En realidad los cambios de piezometría producen un pequeñísimo cambio de volumen por aplastamiento elástico (recuperable o reversible) Al bajar la piezometría se cumple la ley de Arquímedes, la capa impermeable suprayacente está menos apoyada y gravita más sobre el acuífero infrayacente aplastándolo o comprimiéndolo ligeramente. El parámetro S "Coeficiente de Almacenamiento" define este fenómeno. Está claro que S <sup>acusa</sup> generalmente <sup>Avalores</sup> muy pequeños. En su valor S es del orden de 0,0004. Esto quiere decir que si la tabla de agua (Piezometría) se baja 1 metro se aplasta elásticamente el acuífero 4 décimas de milímetro y el drenaje elástico correspondiente produce un volumen drenado por metro cuadrado de:

$$1 \text{ m}^2 \times 0,0004 = 0,4 \text{ litros}$$

Entonces podemos contestar ahora la pregunta formulada en cuanto a sobre explotación.

$$\begin{aligned} \text{Superficie del Valle} &= 270 \text{ Kms}^2. \\ &= 270 \text{ millones de m}^2. \end{aligned}$$

Un 80% acuíferos confinados, un 20% no confinados.  
Drenaje por unidad de superficie 0,15 (15%) no confinado

$$270 \times 10^6 \times 0,8 \times 1,00 \times 0,0004 = 86.500 \text{ m}^3.$$

$$270 \times 10^6 \times 0,2 \times 1,00 \times 0,15 = \underline{8.100.000 \text{ m}^3}.$$

$$8.186.500$$

Vemos que la sobre-explotación actual es del orden de 8.000.000 m<sup>3</sup>. por año, en base al nuestro hecho en el Sector Guadalupeana que ocupa el centro del Valle.

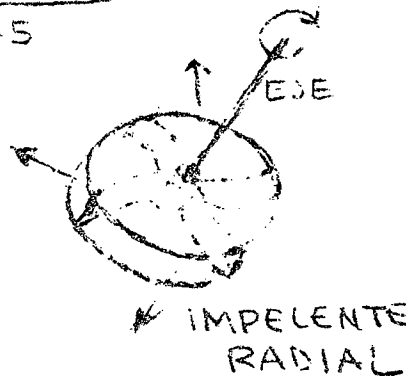
.../...

III.- EQUIPOS DE BOMBE: CARACTERISTICAS Y COSTOS - AUMENTO DE LA CARGA -  
DE OPERACION DE LAS BOMBAS.-

La baja continua de la capa freática se refleja en una disminución del agua bombeada (lo que origina un efecto de auto control, como ya se explicó) al aumentarse la carga de operación de la bomba del pozo profundo.

La disminución del caudal bombeado depende de la magnitud en el aumento del nivel de bombeo y del tipo de impelente o rodete que se usa. Se debe tener presente que hay dos condiciones extremas en la familia de las centrífugas: los impelentes del tipo radial que lanzan agua en un sentido paralelo al plano de rotación de los rodetes (Plano perpendicular, al eje de la bomba) Estos impelentes tienen una velocidad específica  $N_s$  relativamente baja.

$$N_s = \frac{\text{RPM} \sqrt{\text{GPM}}}{H^{0,75}}$$



RPM = Rev. por minuto.

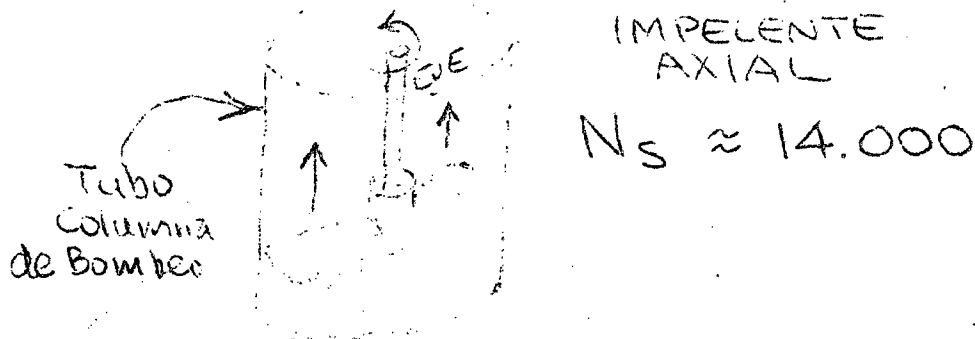
GPM = Galones por minuto (Q)

H = Carga total de trabajo (por rodete)

Si  $N_s$  tiene un valor rel. bajo entonces H tiene un valor rel. alto o sea que estos impelentes levantan agua a gran altura. Generalmente bombean caudales relativamente pequeños que no exceden los 300-400 LPS.

.../...

En las bombas de hélice "Tipo Axial"



Se trata de aspas que lanzan el agua verticalmente y paralelas al eje de la bomba. Tienen un NS más grande y por lo tanto con NS grande  $\eta$  es rel. pequeño. Estos tipos de rodetes levantan grandes caudales que llegan a los miles de litros pero con alturas de pocos metros.

Entre estos dos tipos extremos se encuentran los rodetes que se usan en los pozos profundos con  $NS \approx 5000$  Estos rodetes son del tipo "flujo mixto" en parte radial, en parte axial. Según diseño del rodete, según se incline más al tipo radial o al tipo axial, puede haber poco o bastante cambio en el caudal bombeado al cambiarse la presión de trabajo o carga total o nivel de bombeo.

	<u>Si carga aumenta</u>	<u>Disminuye</u>
Tipo Radial NS Bajo	10%	20% o más
Tipo Axial NS Alto.	10%	6%

Quiere decir que en zonas donde está bajando la tabla de agua conviene evitar los impelentes con características muy radiales. Este punto conviene tenerlo presente al adquirir las bombas. Al estar bajando los niveles de bombeo se sabe que se bombeará menos con el tiempo pero conviene que el porcentaje de disminución de  $Q$  sea lo más pequeño dentro de lo posible. Para esto, se debe examinar la curva característica de la bomba. En el caso de las bombas con motores sumergidos la velocidad RPM de

.../...

3.600 asegura un NS alto, un efecto muy deseable en este caso.

Los impelentes de las bombas de pozos profundos se suelen armar en conjuntos de varios impelentes en serie (Cada uno de los cuales va impartiendo una presión adicional al caudal  $Q$  bombeado dentro de unas carcasas o cajas de contenimiento (que crean la presión) denominadas tazones; cada impelente de estos conjuntos se suele llamar "Etapa" de la bomba o del bombeo. Si la carga de trabajo total  $H$  total se distribuye entre un buen número de etapas, la fracción de carga por etapa o impelente es poca y al bajar la tabla de agua el incremento porcentual por etapa es relativamente poco y no baja tanto el  $Q$  bombeado.

#### TIPO D. INSTALACIONES EN LA GUADALUPANA.

En La Guadalupe se comenzó la explotación del agua del subsuelo con bombas movidas con motores Diesel. Después de varios años de trabajo se llegó a la conclusión de que el uso de motores Diesel resulta en poca eficiencia en los riegos y alto costo de operación dada la naturaleza árida de la zona de riego. De allí vino la decisión de electrificar el bombeo.

#### REQUERIMIENTO DE AGUA - HORAS DE BOMBEO (THORNTHWAITTE, VALOR ALTO)

Aquí el ETP es 1500mm y la lluvia media anual un poco menos de 500 mm. digamos que en promedio, se debe suplir una lámina neta de 1050 mm. Con pérdidas del 50% la lámina bruta = 2100 mm. En el caso de la caña esta lámina debe reducirse debido al "Período de agostamiento" en el cual se le suspende el riego a la caña. Este período es de dos meses a dos meses y medio. Si tomamos la cifra de dos meses, la reducción en la lámina bruta requerida (para sostener vegetación verde todo el año) puede calcularse así: el valor ETP medio diario es del orden de 4,1 mm. (lámina diaria neta) La lámina diaria bruta es 8,2 mm.# En 60 días tenemos 490 mm. Si el agostamiento se programa en toda la superficie sembrada para se cumpla todo el ciclo dentro del período seco del año hidrológico (más o menos de fines de Nvbre. a mitad de Mayo) esta reducción en la lámina

# 8,2 mm = 82.000 litros por hectárea y por día. Al dividir por 86.400 - seg. se tiene 0,95 LPS y por hectárea. Si se bombea 20 horas al día - el requerimiento instantáneo es  $24/20 \times 0,95 = 1,2$  LPS y por hectárea.

.../...

mina de bombeo es bastante efectiva y la lámina bruta requerida es 2100 mm. - 490 mm = 1610 mm.

Requerimiento por hectárea, total como volumen = 16.100.000 litros. Si dotamos 1 LPS por hectárea en capacidad de bombeo (caso Guadalupana) y bombeamos 20 horas al día tenemos  $20/24 \times \text{LPS} = 0,834 \text{ LPS/Ha.}$  disponibilidad de hecho.

$$\frac{16.100.000 \text{ litros}}{0,834 \text{ LPS}} = 19.300.000 \text{ segundo de bombeo en el año}$$

Días de bombeo equivalentes dividir 19.300.000 segundos entre 86.400 segundos que hay en un día = 224 días de bombeo en el año = 5400 horas equivalentes.

Para lograr este resultado es necesario agostar la caña en un período no mayor de 6 meses que abarque el período seco del año y esto significa un cupo diario de cosecha de  $\frac{500 \text{ Has.}}{180 \text{ días}} = 2.78 \text{ Has. por día}$

El agostamiento en el caso Guadalupana (500 has.) debe hacerse evidentemente en lotes o sectores de  $\frac{500}{6} = 83 \text{ Has.}$  Las cifras anteriores de horas de bombeo pueden variar según la lluvia anual, disminuyendo en ciclos de muchas lluvias anuales y aumentando en períodos de poca lluvia anual.

Ciertamente, si en la Guadalupana se fija un cupo de 3.00 Has. de cosecha por día se garantiza una economía máxima en los bombeos.

#### COSTOS DE POZOS PROFUNDOS.-

En La Guadalupana los pozos tienen una profundidad media que se acerca a los 80 metros. El costo por metro lineal es del orden de Bs. 380 (12" de forro) lo que representa un costo aproximado de Bs. 30.500. Con una producción media de 5 LPS el costo del LPS es de Bs. 550 = Costo por hectárea. Los pozos pueden depreciarse en 10 años por lo menos y si agregamos un 10% de interés tenemos Bs. 60,5 por año = Costo por hectárea por año. El costo por tonelada de caña en base a 90 Ton. de produc-

.../...

ción por hectarea es de 60.5 = Bs. 0,66 aprox.

EQUIPOS DE BOMBEO.-

Como se dijo inicialmente se comenzó a trabajar con motores Diesel y bombas de pozo profundo (turbinas) provistas de ejes bastante largos ya que la profundidad de instalación en la zona se acerca o sobrepasa a los 60 metros.

Con más de 5000 horas de bombeo por año en una zona árida, un Diesel moderno de alta velocidad (RPM) debe depreciarse en menos de 3 años ya que la vida económica útil es de 12.000 horas, según las recomendaciones de muchos fabricantes. Es posible que el servicio se extienda a las 15.000-20.000 horas, pero con mantenimientos muy costosos. Para lograr una operación de alto grado de confiabilidad que no signifique frecuentes reparaciones de motores y sequías en el cultivo de riego, es más aconsejable depreciar el equipo en menos de 3 años. Para instalaciones con profundidades medias del orden de 60 metros, el costo del LPS en base a turbinas de pozos profundos con ejes protegidos por camisas de aci- te y motores Diesel es de Bs. 1100 muy aproximadamente. Con motores eléctricos de superficie el costo es de Bs. 800 muy aproximadamente.

Con motores sumergidos (el tipo de bomba en el cual la bomba y el motor van acoplados por un eje corto y se colocan dentro del agua) el costo es de Bs. 300 el LPS.

Las diferencias en costos de capital por años son considerables. El conjunto total turbina-Diesel conviene depreciarlo en 4-5 años (condiciones zona árida Guadalupeana).

El conjunto turbina-motor eléctrico de superficie puede depreciarse en 8-9 años la bomba 10 años el motor (aunque en realidad dura más) El motor representa un % menor del costo.

El conjunto bomba y motor sumergido puede depreciarse en 6 años. Si tomamos 10% de costos de interés tenemos por LPS = Hectárea por año

.../...

COSTO ANUAL DEL CAPITAL (EQUIPO DE BOMBEO)

Turbina - Diesel	Bs. 268,00
Turbina - Motor Eléctrico Superficie	103,00
Bomba - Motor Sumergido	55,00

Estos costos anuales van bien en aguas que no sean muy corrosivas, por ejemplo aguas del tipo calcio -bicarbonático de 1000 ppm. de contenido total de minerales (como las de Quíbor). A continuación se van a detallar más los costos.

Caballajes y  
Eficiencias

Para comparar la eficiencia y el costo de operación de equipos Diesel y equipos eléctricos hay que ponerlos en paridad de condiciones.

Por definición 1 HP = 550 Libras movidas un pie en un segundo o 1 libra movida 550 pies en 1 seg.

En el sistema métrico el trabajo equivalente es 76 Kgs. movidos 1 metro en 1 seg.

$$1 \text{ HP} = 76 \text{ Kgs.} - \text{més. por segundo}$$

En el caso del agua 1 Kg. = 1 litro entonces

$$1 \text{ HP} = 76 \text{ LPS (litros por segundos) por metro.}$$

En vista de esto, está claro que los "Caballos de Agua" o "Caballos Hidráulicos" vienen dados por la ecuación

$$\text{HP} = \frac{\text{LPS} \times \text{metros}}{76 \text{ LPS por metro}}$$

Los caballos al freno (BHP" o caballos al volante o al eje "CV") representan la diferencia entre el trabajo neto hecho HP y el trabajo bruto - hecho según la eficiencia del sistema,

$$\text{BHP} = \frac{\text{LPS} \times \text{metros}}{76 \times \text{efic.}}$$

Al hablar de eficiencia conviene especificar una eficiencia Global. EG

.../...

EG = Efic. Bomba X Efic. del motor.

Aquí vienen las grandes diferencias entre los motores Diesel y los motores Diesel y los motores eléctricos.

Los impelentes de las bombas suelen alcanzar eficiencias del 80%, cuando se ha escogido un impelente bien adaptado al servicio propuesto. La eficiencia de los motores Diesel puede llegar a un 65% como máximo en el caso de unidades muy bien diseñados. Corrientemente se especifica usar una eficiencia del 60% para servicio "pesado y continuo".

Los motores eléctricos de superficie alcanzan eficiencias de 92% fácilmente y los motores sumergidos con estatores largos y angostos que tienen ciertos recalentamiento, # suelen tener un 84% de eficiencia en el caso de unidades relativamente grandes.

Entonces Efic. Global EG es

Bombas con motores Diesel :  $80 \times .60 = .48$

Bombas con motores Eléctr.(superficie).  $80 \times .92 = .74$

Bombas con motores Electr.(sumergidos)  $.80 \times 84 = .67$

Pero en virtud de que los equipos con motores sumergidos tienen menos fricción de columna (no hay ejes y camisas) y no hay pérdidas en chumaceras de eje, se le puede dar una efic. relativa de 0.70

Si tomamos el BHP producido por una bomba con motor eléctrico superficial como el patrón del BHP más eficiente, para lograr un efecto igual con Diesel y con Sumergidos hay que instalar para 1 BHP (eléctrico de superficie)

1,54 BHP Diesel

1,06 BHP elec. sumergido

En el caso de los Diesel se acostumbra dejar cierta potencia de reserva y de hecho se llega a 1,9 BHP. Diesel y aún más por 1 BHP eléctrico de superficie.

# Es imprescindible que estén bien sumergidos en el agua que circula para ser enfriadas.

.../...

Dotación HP por Hectárea en La Guadalupeana

Con motores eléctricos de superficie se requieren unos 480 HP para bombear 500 LPS. para las 500 Has. de La Guadalupeana. Podemos tomar un coeficiente = 1 HP eléctrico de superficie por LPS y por hectárea regada.

COSTO 1 BEP ELECTRICO

El costo por BEP es de Bs. 80 muy aproximadamente para motores eléctricos de superficie y Bs. 55 para motores sumergidos.

En el caso de los motores eléctricos de superficie si se deprecia la unidad en 10 años (dura mucho más) tenemos con 10% de costos de interés)

Bs. 8.80 por año y por HP.

Agregar 50.00 por año y por HP (inspección y mantenimiento)

El costo de la energía es el renglón más fuerte y podemos plantear dos caso de 3.500 horas de bombeo con una temporada de siego del orden de 6 meses y el caso de una zona árida como Quíbor con 5.500 horas en 9 meses.

Se toma el costo del HP-Hora = 0,746 x costo del KW-hora. Este último costo tiende a llegar a Bs. 0,08 en las zonas rurales (Cadafe está contemplando tarifas rurales de Bs. 0.075 el KW-hora)

Costo 3.500 horas	Es.	209	energía
Costo 5.500 horas	Es.	328	"
Costo total por HP-eléctrico (motores de superficie) año 3.500 horas de trabajo:			

Depreciación motor	Bs.	8,80
Inspección y mantenimiento	Bs.	50,00
Costo energía	Bs.	<u>209,00</u>
	Es.	267,80

Con 5.500 horas el costo es Bs. 386,80

Costo total por HP-eléctrico (motores sumergidos) inspección y costo - energía iguales; depreciación motor Bs. 55.- en 6 años nos da un costo de Bs. 10,00 con 10% interés.

.../...

El costo por año de 3.500 horas es Es. 259,00

El costo por año de 5.500 horas es Es. 388,00

En el caso de los motores Diesel tenemos costos del HP es de Bs. 250 aproximadamente (con motores Diesel europeos el valor es de Bs. 200 o algo más)

Estos valores pueden bajar un poco en el caso de unidades de caballaje relativamente grandes pero en el caso de motores típicos de 50 a 120 caballos para bomba de pozos profundos un precio medio de Bs. 250 por HP va bien.

Con 5500 horas al año depreciar en 2,75 años (15.000 horas de trabajo - útil ..... valor alto) y agregar 10% interés.

Costo depreciación Es. 91,80 por año combustibles 3.500 horas X 0,16 litros de gas oil por hora-HP X Es. 0,08 el litro = Es. 70,50 por año. - Grasas, lubricantes, estopas, etc. resulta en un valor de aproximadamente 20% del costo del combustible = Es. 14 por año. El costo de reparación y mantenimiento puede tomarse en un 20% del costo de depreciación en servicio pesado y continuo = Es. 19,40 por año. El costo de operarios que inspeccionan preñdan y apagan las unidades, cambian los aceites, - etc. puede llegar a unos Es. 50 por año.

Esto nos dá un total así:

Depreciación	Es. 91,80
Mantenimiento y reparaciones	Es. 19,40
Combustibles	Es. 70,50
Lubricantes, grasas, etc.	Es. 14,00
Operarios y vigilancia	<u>Es. 50,00</u>

Es. 245,70 Digamos Es. 246,00

por año por HP Diesel.

Con 3.500 horas al año la depreciación puede hacerse en 3,33 años. Con el cambio que hay en los renglones básicos se tiene Es. 193 por año.

Para el caso de La Guadalupana si tomamos 5.500 horas de operación al año y comparamos el costo de operación de los motores sopesando con los

.../...

factores siguientes,

Costo HP x 1.00 Motores eléctricos de superficie

Costo HP x 1.06 Motores sumergidos

Costo HP x 1.90 Motores Diesel

Nos resulta para el costo de operación de los motores por año de 5.500 horas en La Guadalupana.

Con motores eléctricos de superficie

Bs. 387 x 1,00

Bs. 387,00

Con motores eléctricos sumergidos

Bs. 388 x 1,06

Bs. 412,00

Con motores Diesel

Bs. 246 x 1.9

Bs. 468,00

Téngase presente que 1 HP eléctrico de superficie = 1 hectárea riego = 1 LPS.

Se advierte que aquí se está favoreciendo relativamente a los Diesel ya que los fabricantes generalmente recomiendan depreciar los Diesel pequeños de altas revoluciones de trabajo en 12.000 horas y no en 15.000 como se ha hecho.

Ahora vamos a sumar el costo de los otros equipos: columnas de bombeo, ejes de turbinas y camisas etc.

Tanto para los Diesel como para los motores eléctricos de superficie debe tomarse un costo de impelentes y tazonas, columnas, ejes, camisas de aceite, etc. que llega a unos Bs. 500 por LPS. Estos componentes mecánicos pueden depreciarse en 5 años con 10% de interés y conviene tomar no menos del 10% de este costo para cubrir las reparaciones y los mantenimientos que se dan muchas veces.

El costo adicional por año es entonces de unos Bs. 98,00 digamos Bs... 100,00 por LPS

Con los motores sumergidos el costo de mantenimiento de la columna de bombeo es prácticamente cero y el costo de los otros equipos impelentes,

.../...

bomba, cables, y columna sencilla de bombeo sin ejes ni camisas etc. es de Bs. 245 Si depreciamos estos equipos en 6 años con 10% interés tenemos Bs. 45 adicionales por LPS

El costo Total del bombeo por LPS (= Costo por hectárea regada) en las condiciones de La Guadalupana con pozos de profundidad media 80 metros, niveles de bombeo medios de 60 metros y prof. de instalación entre 65 y 70 metros es entonces así muy aproximadamente:

Motores eléctricos de Superficie

Costos Pozos	Bs. 60,50
Costo Operación Motores	Bs. 387,00
Costo anual columna de bombeo y bomba	<u>Bs. 100,00</u>
	Bs. 547,50

Motores Sumergidos

Costo Pozos	Bs. 60,50	Costo Total suministro Agua por bombeo por LPS.  (= Costo por hectáreas).
Costo operación motores	Bs. 412,00	
Costo anual columna de bombeo y bomba	<u>Bs. 45,00</u>	
	Bs. 517,00	

Motores Diesel

Costo pozos	Bs. 60,50	Costo operación Motores es costo HP equivalente = 1 LPS=/HA. ojo costo de La Guadalupana.
Costo operación motores	Bs. 468,00	
Costo anual columna de bombeo y bomba	<u>Bs. 100,00</u>	
	Bs. 628,50	

Ahora vamos a señalar algunos detalles que cambian en una buena medida el significado económico de estos costos calculados.

Hemos considerado paridad de condiciones y horas de operación para estos tres tipos de equipo y esto dista mucho de ser verdad. En el caso de los Diesel es bien seguro que dentro del período de operación de 5.500 horas, se perderá un % de tiempo muy apreciable con lo cual disminuye el agua bombeada sin disminuir sensiblemente el costo anual del LPS (el costo a

.../...

riable del Diesel es barato ..... prácticamente el costo del gas-oil y lubricantes = 35% del costo anual).

Esto tiene una considerable importancia en el factor económico del costo por tonelada de caña/

Ya se ha podido comprobar en el campo que, cuando se asiste bien la caña con agua de riego se logra en quíbor un tonelaje que no baja de 110. En cambio las interrupciones es los riegos por mantenimiento de motores Diesel resulta en una producción del orden de 90 toneladas por hectárea o algo menos.

Como quiera que el costo del LPS representa virtualmente el costo del agua de riego por hectárea la continuidad y la eficiencia en la operación de los motores afecta directamente el costo de la tonelada de caña.

Se repite que la experiencia de La Guadalupe habla de un tonelaje medio que no pasa de 90 toneladas por hectárea, cuando se opera con motores Diesel.

La Electrificación significa una producción de 110 toneladas por hectárea o algo más.

GOSTO APROXILADO DEL SUMINISTRO DE AGUA DE RIEGO POR TONELADA DE CAÑA.

Motores Eléctricos de Superficie 547,50/110 Bs. 4,93

Motores eléctricos sumergidos 517,50/110 Bs. 4,70

Motores Diesel 628,50/90 Bs. 6,98  
(o más)

Está claro que, aparte de la economía que se logrará en los costos de los bombeos (500 LPS x Bs. 100 = Bs. 50.000, por lo menos) se debe lograr con la electrificación un aumento en la producción de 500 Has. x 20 toneladas = 10.000 toneladas de caña, lo que representa un beneficio del orden de los Bs. 200.000, ya que la producción adicional solo tendría gastos de corte y transporte.

Finalmente debe señalarse que, en una zona con instalaciones de bombeo

.../...

relativamente profundas, el factor mantenimiento de turbinas del tipo corriente, con ejes largos no es despreciable y puede a veces resultar en ciertas demoras y pérdidas de tiempo de bombeo.

#### Equipos que se instalan en La Guadalupe

En la Guadalupe se instalan bombas con motores eléctricos sumergidos. Estos equipos vienen para operación a 440 voltios en 3 fases. La velocidad de operación es alta = 3600 RPM al igual que todos los sumergidos. El enfriamiento del motor se efectúa con el agua que pasa al lado del mismo. Los equipos traen arrancadores de voltaje reducido, interruptores manuales y protección térmica contra sobrecargas por bajas de voltaje desequilibrios de fases y otras causas accidentales; también llevan fusibles contra corto-circuitos.

Conviene señalar los siguientes puntos claves en la instalación de equipos con motores sumergidos.

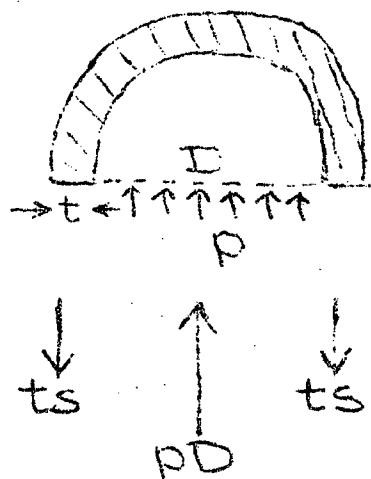
- 1) Los pozos deben producir agua limpia; no se puede bombear arena dada la alta velocidad de operación.
- 2) El equipo debe instalarse a una profundidad tal que por lo menos una parte del caudal bombeado pase junto a la bomba y la enfríe.  
Si se pone el equipo más bajo de los acuíferos productores el agua bajaría de los acuíferos al colador sin pasar por el motor y se darían recalentamientos que podrían quemar el motor si falla el térmico, después de estar prendiendo y disparando incontables veces.
- 3) Conviene tener pozos de 12" o más de diámetro para evitar pérdidas de carga internas dentro del pozo, ya que puede haber efectos de taponamiento con los motores eléctricos y demás conexiones.
- 4) Los equipos se instalan con una válvula de pie que retiene una columna hidrostática y hace que el motor arranque contra una resistencia (evitar sobrecarga inicial de corriente) Esta válvula de pie produce golpes de ariete cuando se devuelve con apagadas súbitas del motor (el caso de los interruptores automáticos o "Timers" que cortan la corriente en las horas-pico 6 PM-10 PM.) Con alturas manométricas

..../...

del orden de 60 metros y velocidades del orden de 2.80 metros por segundo en tubos de 6" de acero se pueden dar presiones del orden de 30 atmósferas en la columna de bombeo. Si se ponen válvulas de pie de cierre más lento por ejemplo, que cierran contra un resorte, este efecto indeseable se elimina.

Se vé que la tubería de bombeo debe ser capaz de sostener arietazos. Esto puede verificarse aplicando la teoría de los cilindros delgados:

### Equilibrio de Fuerzas Medio Tubo



- t = espesor tubo
- D = Diámetro
- p = presión hidr. Kg/cm<sup>2</sup> que actúa a lo largo de D
- S = Esfuerzo tensión por unidad de cm<sup>2</sup>

Equilibrio de fuerzas en un centímetro lineal de tubo  $pD = 2ts$ .

Si tomamos  $S = 1.000 \text{ Kgs./cm}^2$ .  $p = 30 \text{ Kgs/cm}^2$ .

y  $D = 15 \text{ cm (6")}$

$$t = \frac{pD}{2S} = \frac{30 \times 15}{2 \times 1000} = \frac{450}{2000} = 0,225$$

Es decir que con un espesor de 0,225 cm. (algo menos de 1/8") el tubo no estalla. Los tubos de 6" generalmente tienen más de 1/8" de espesor.

JMOP/nvm.-