

Trabajo Especial de Grado

Estudio Técnico Económico para Mejorar una Estación de Bombeo Existente de una Comunidad

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller
Rivas I., Alejandro E.
Para Optar al Título
De Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003.

Introducción al Problema

Estación de Bombeo Vegas de Petare:

- Av. Las Vegas de Petare, Palo Verde, Municipio Sucre.
- Bombeo directo a la red de distribución.
- Surte de agua al Barrio Unión, El Carpintero, parte del Carmen, etc.
- Infraestructura deteriorada.
- Elevados costos por mantenimiento y reparaciones.
- Se requiere estudio técnico económico para mejorar este sistema de distribución de agua.

Objetivo General

- Realizar un estudio técnico económico que permita mejorar la estación de bombeo Vegas de Petare

Objetivos Específicos

- Determinar y evaluar las condiciones actuales de operación de la estación Vegas de Petare.
- Determinar aspectos hidráulicos y electromecánicos del sistema de abastecimiento existente.
- Definir, diseñar y cuantificar una nueva configuración de la estación adecuada a las condiciones de operación actuales y a futuro, incluyendo los costos asociados y ahorro de energía.

Esquema General de Trabajo

Situación Actual

- Equipo de Bombeo
- Red de Distribución

Consideraciones para el Diseño

- Zona a ser Abastecida
- Población a ser Abastecida
- Caudal Medio
- Ubicación de la E/B

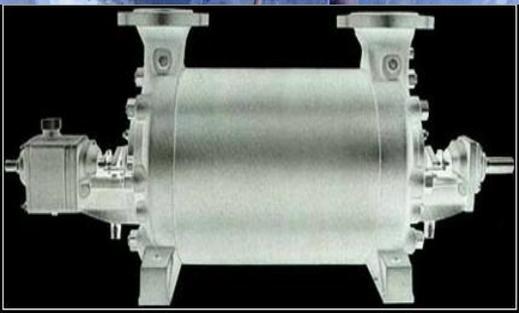
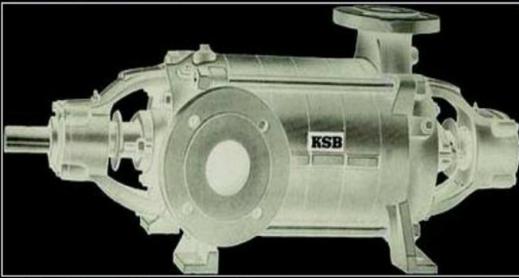
Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

- Caudal de Diseño
- Sistema de Succión y Descarga
- Característica del Sistema
- Selección de las Bombas
- Número de Unidades y Etapas
- Variador de Velocidad
- Golpe de Ariete
- Válvulas, Tuberías, Motores
- Instalaciones Eléctricas

Estudio Económico

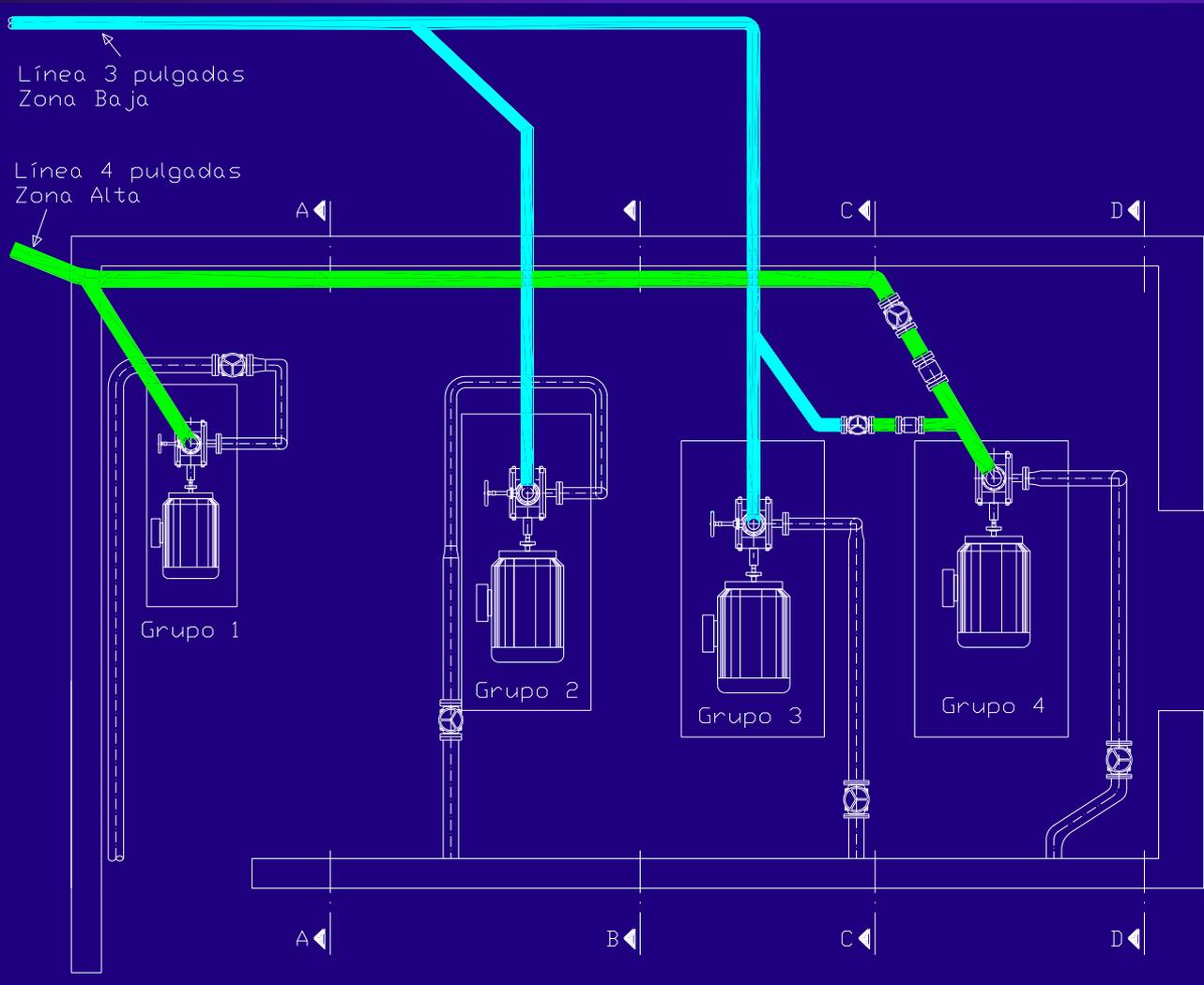
Conclusiones

Recomendaciones



Situación Actual

EQUIPO DE BOMBEO



- 4 Bombas KSB
- Tuberías de Hierro Galvanizado
- Combinación: 1-4 , 2-3
- Motores de 57 hasta 77 hp
- Velocidad: 3500 RPM
- Tensión: 220 Voltios

Situación Actual

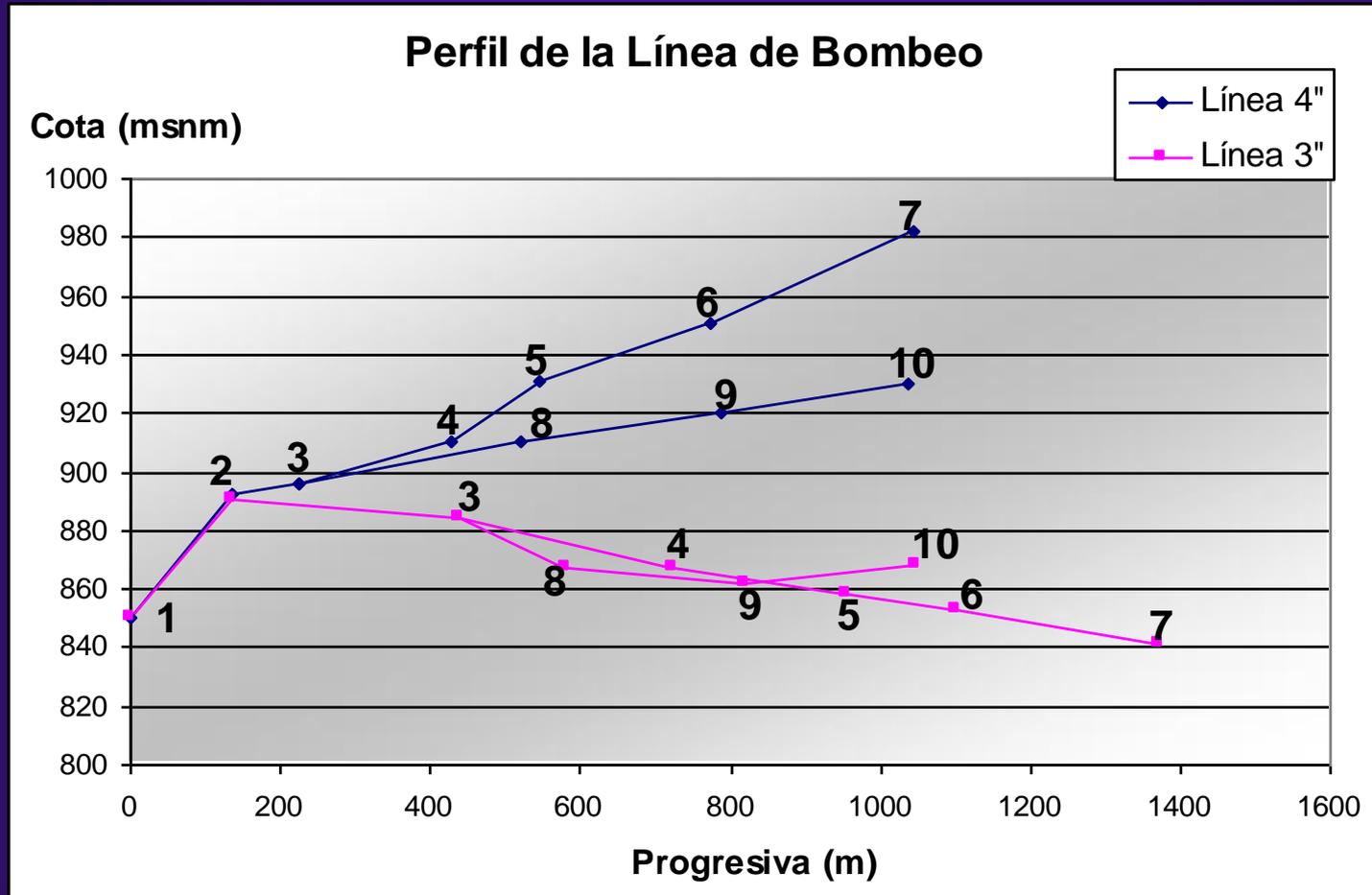
RED DE DISTRIBUCIÓN



Situación Actual

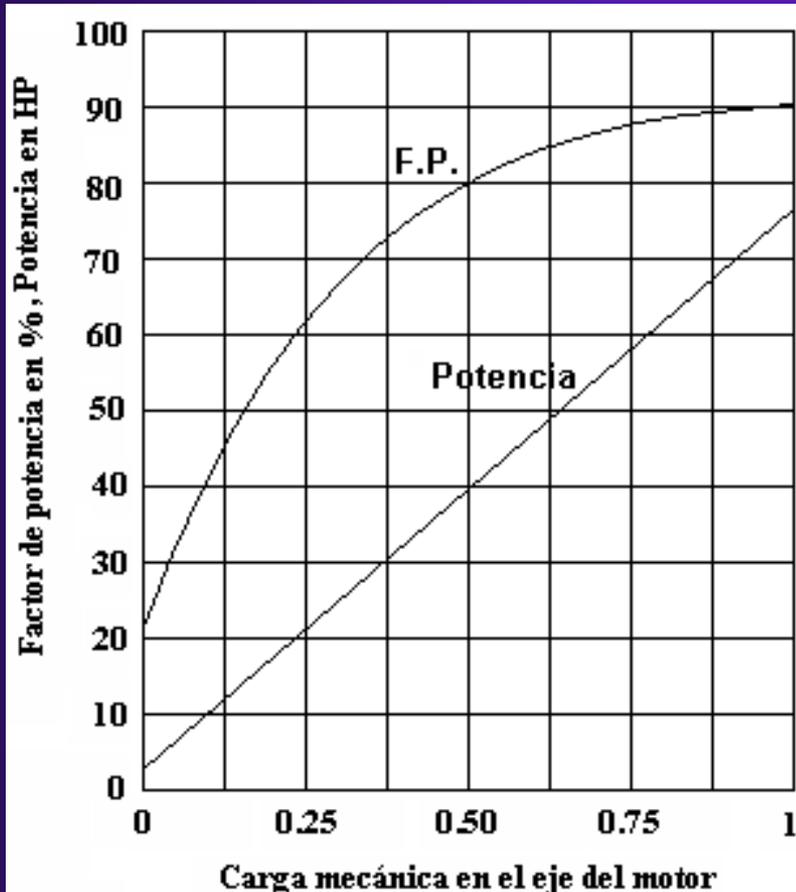
RED DE DISTRIBUCIÓN

Progresiva de los Tramos Principales de la Red



Situación Actual

Potencia Eléctrica Absorbida



$$P_e = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi$$

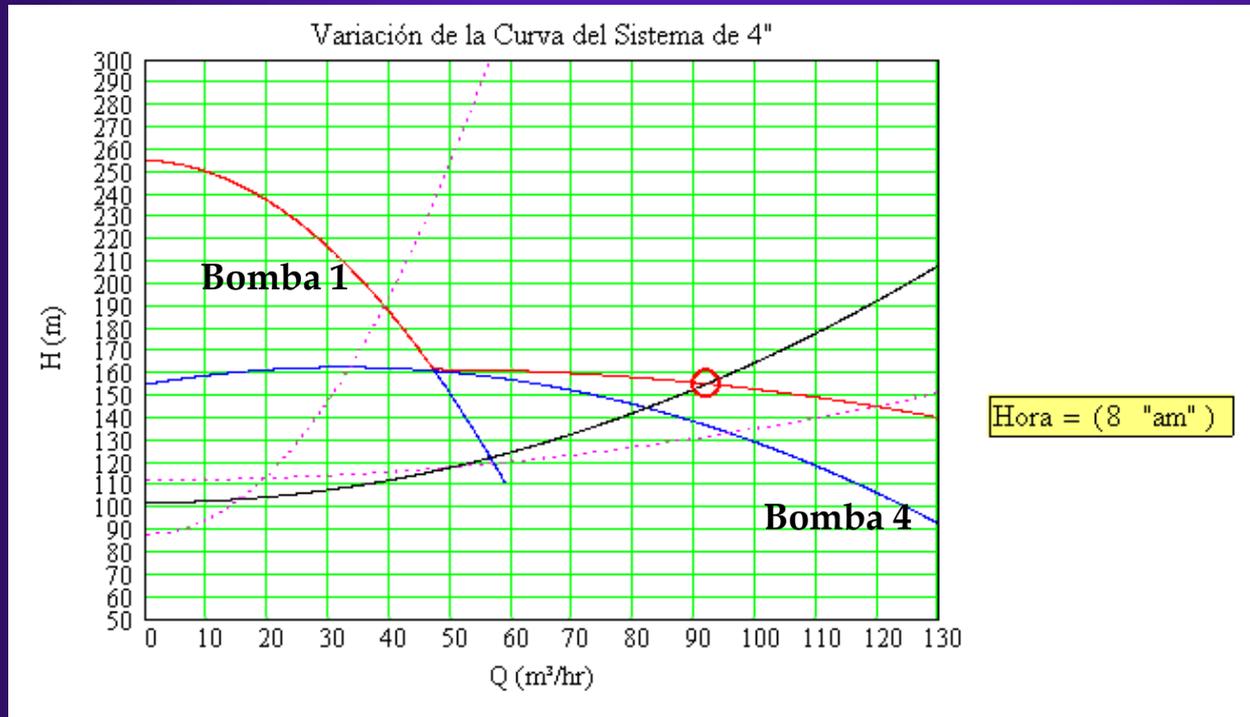
$$\eta_{\text{mot}} = \frac{P_o}{P_e}$$

$$P_o = \frac{P_b}{\eta_{\text{mec}}}$$

Situación Actual

Característica del Sistema

Curvas Característica del Sistema:



Hora = (8 "am")

Bomba 1: ϕ 150mm
5 etapas

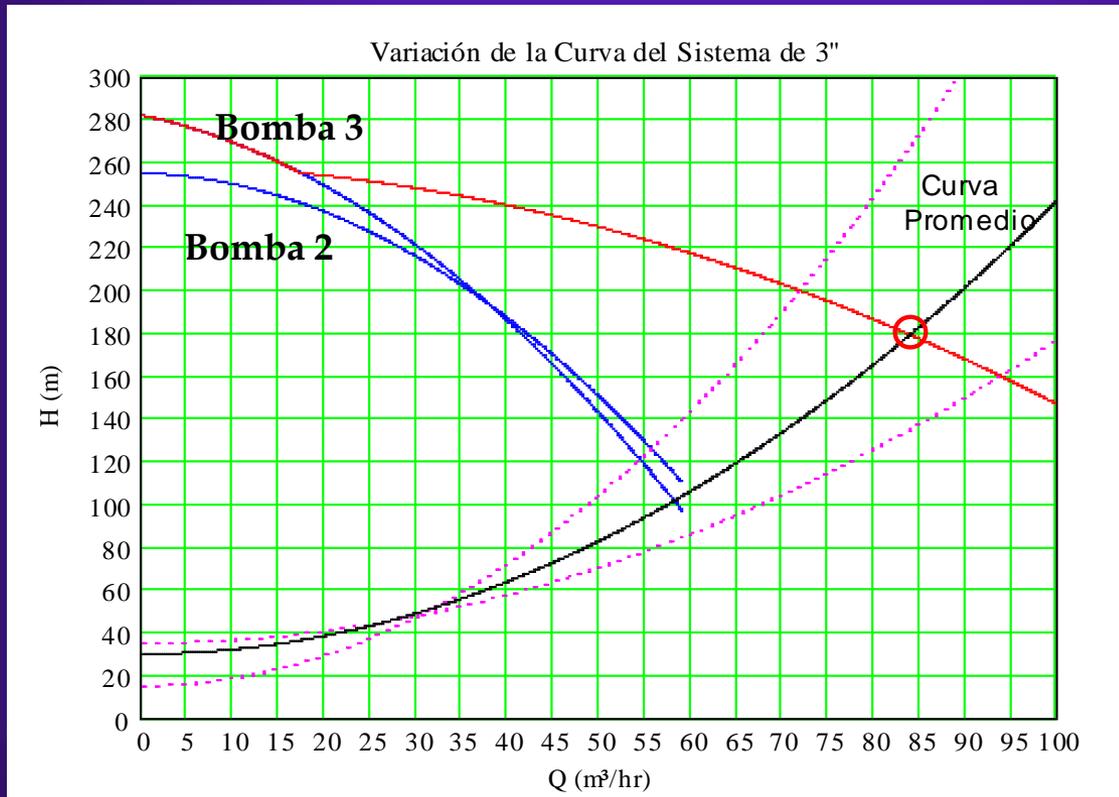
Bomba 4: ϕ 203 mm
2 etapas

Animación

Situación Actual

Característica del Sistema

Curvas Característica del Sistema:



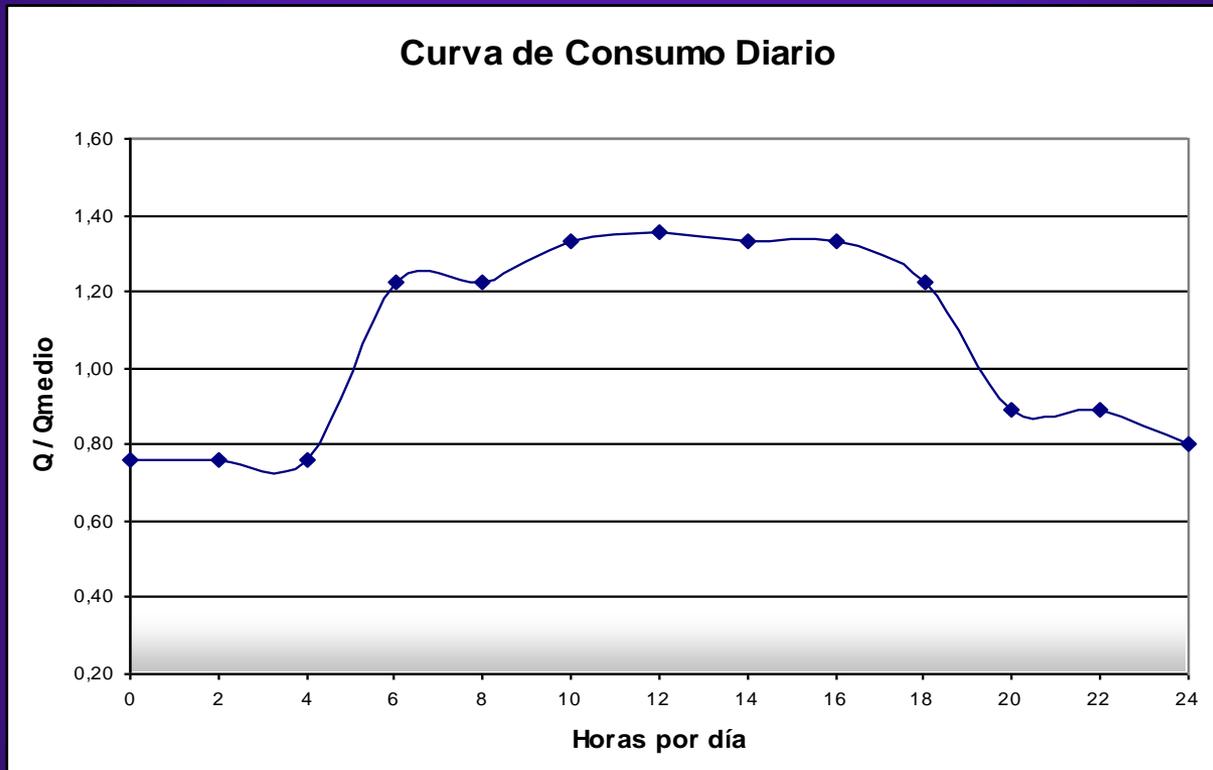
Bomba 2: ϕ 145mm
6 etapas

Bomba 3: ϕ 150 mm
5 etapas

Situación Actual

Característica del Sistema

Curva de Consumo Diario:

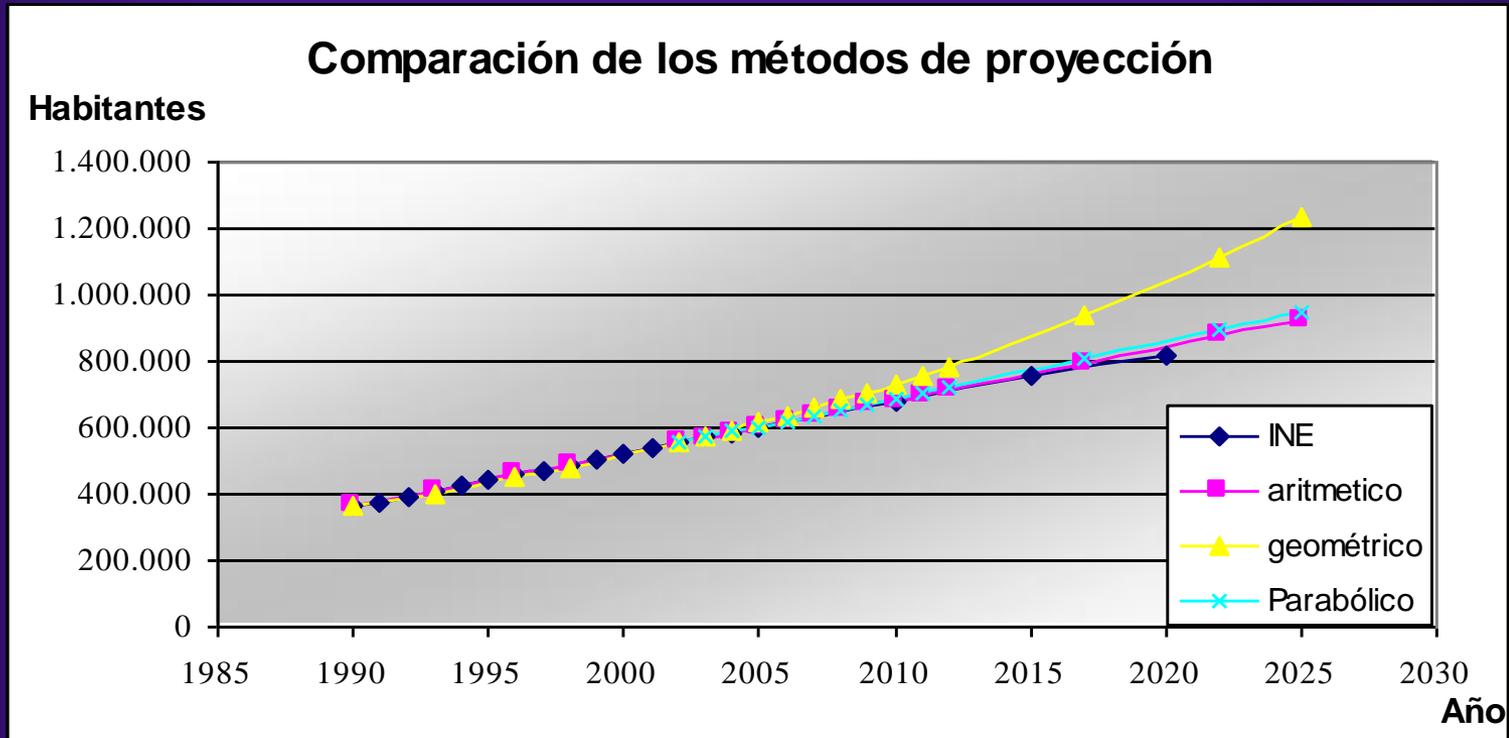


$$Q_{\text{medio}} = 44,44 \text{ l/s} = 160 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Situación Actual

Cálculo de la Población Abastecida

Población de Petare:



Población Abastecida:

Estimación = **13.577** habitantes

Situación Actual

Caudal Medio

Pob = 13.577 habitantes Dotación = 200 l/pers/día

$$Q_{\text{resid}} = \text{Pob} \cdot \text{Dotación diaria} = 31,43 \text{ l/s} = 113 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$Q_{\text{comerc}} = Q_{\text{medio}} - Q_{\text{resid}}$$

$$Q_{\text{comerc}} = (44,44 - 31,43) \text{ litros/seg}$$

$$Q_{\text{comerc}} = 13,0 \text{ litros/seg} = 46,8 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Situación Actual

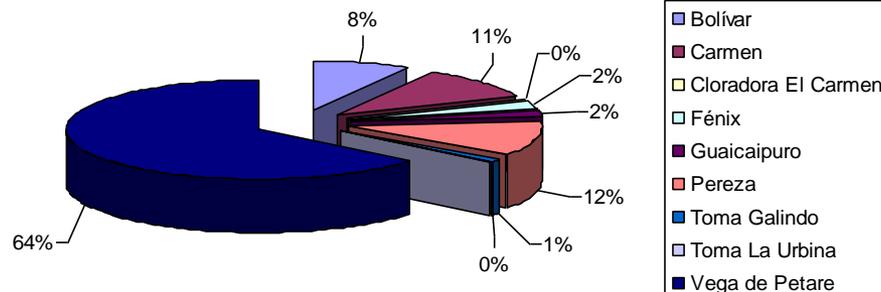
Consumo Eléctrico Mensual del Equipo de Bombeo

GRUPO	POTENCIA		Consumo mensual (kWh)	Costo mensual* (MMBs.)
	hp	kW		
1	56.4	42.07	31.306	1,163
2	63.0	46.95	34.917	1,297
3	52.7	39.32	29.250	1,086
4	60.5	45.08	33.528	1,245
TOTAL	232,555	173,416	129.028	4,792

* Costo mensual con tarifa 07 referida a Servicio General 4 (37,14 Bs./kWhr)

Costos por Mantenimiento Electromecánico de la Estación

Costos porcentuales por mantenimiento IMAS año 1999



E/B Vegas de Petare

Bs. 10.879.426,88

Situación Actual



Detalle de la carcasa deteriorada de una de las bombas



Detalle del deterioro de las bases metálicas



Detalle del deterioro de las bases de los grupos

Consideraciones para el Diseño

- Independización de la Zona Baja de la Estación de Bombeo a partir del año 2005.

- Población a ser Abastecida:

- Año 2005 => Pob = 14 .820 habitantes

- Año 2020 => Pob = 12 .159 habitantes

- Población a ser Abastecida:

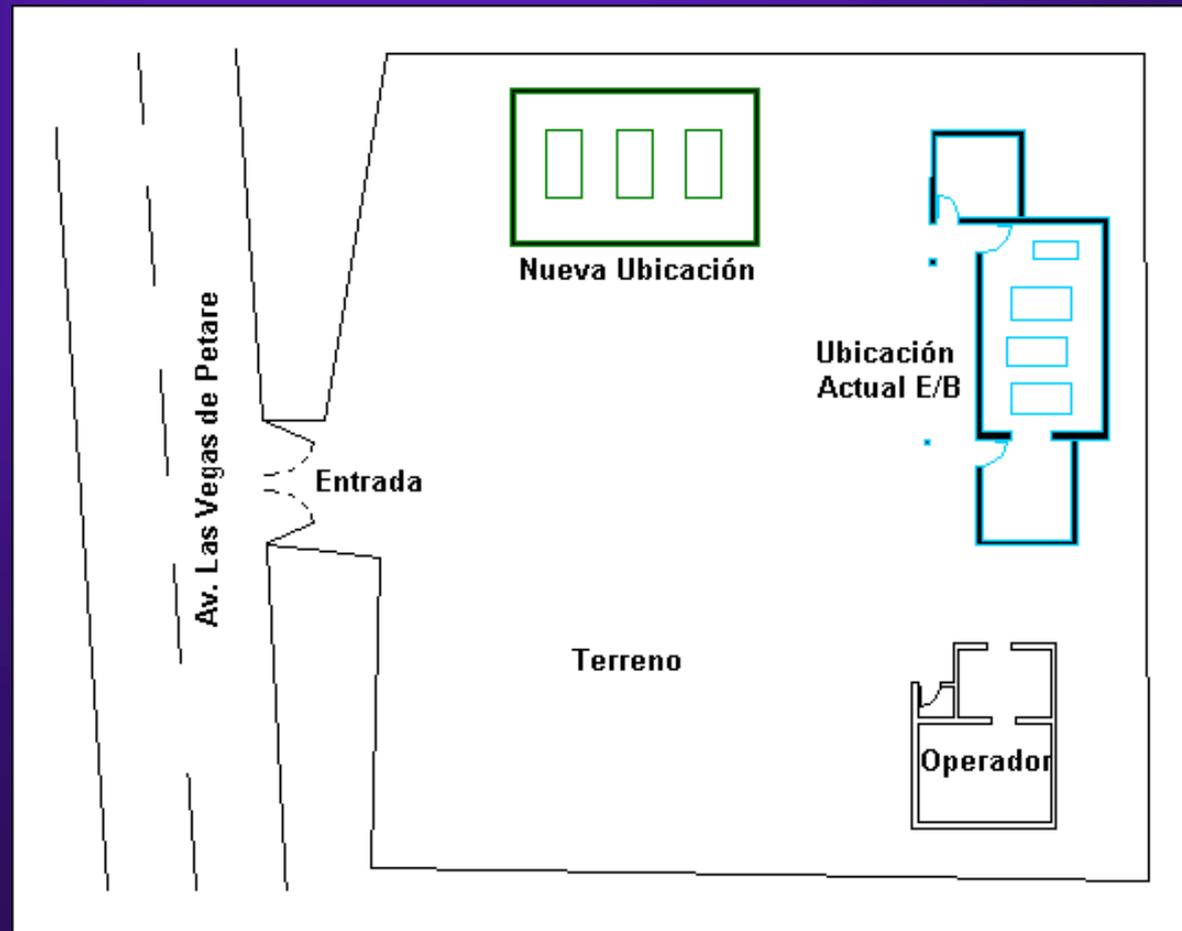
- Año 2005 => $Q_{\text{medio}} = 170 \text{ m}^3/\text{hr}$

- Año 2020 => $Q_{\text{medio}} = 125 \text{ m}^3/\text{hr}$

- Período de Diseño = 17 años.

Consideraciones para el Diseño

Nueva Ubicación de la E/B Vegas de Petare



Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Caudal de Diseño:

Consumo Máximo Diario

$$Q_{\text{máx-diaro}} = 1,2 \cdot 47,3 \text{ l/s} = 56,76 \text{ l/s} = 204,3 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Consumo Máximo Horario

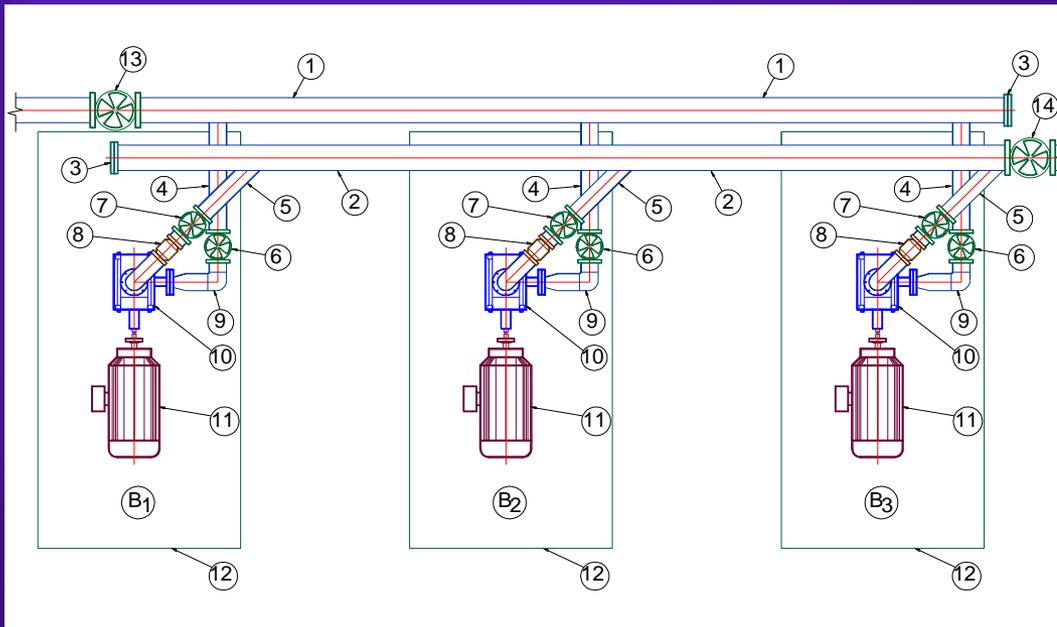
$$Q_{\text{máx-horario}} = 2,64 \cdot 47,3 \text{ l/s} = 124,87 \text{ l/s} = 450 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Consumo en Caso de Ocurrencia de Incendio

$$Q_{\text{Incendio}} = 1,8 \cdot 47,3 \text{ l/s} + 16 \text{ l/s} = 101,14 \text{ l/s} = 364 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Diseño del Sistema de Succión y Descarga



1	Tubería de succión / distribuidora (múltiple de succión)
2	Tubería de descarga / recolectora (múltiple de descarga)
3	Brida ciega y contrabrida
4	Tubería de succión de cada bomba
5	Tubería de descarga de cada bomba
6	Válvula de paso succión (válvula compuerta)
7	Válvula de paso descarga (válvula compuerta)
8	Válvula de retención (válvula check)
9	Codo 90°
10	Bomba
11	Motor eléctrico (motor trifásico de inducción)
12	Fundación
13	Válvula de reparación múltiple succión (válvula compuerta)
14	Válvula de reparación múltiple descarga (válvula compuerta)

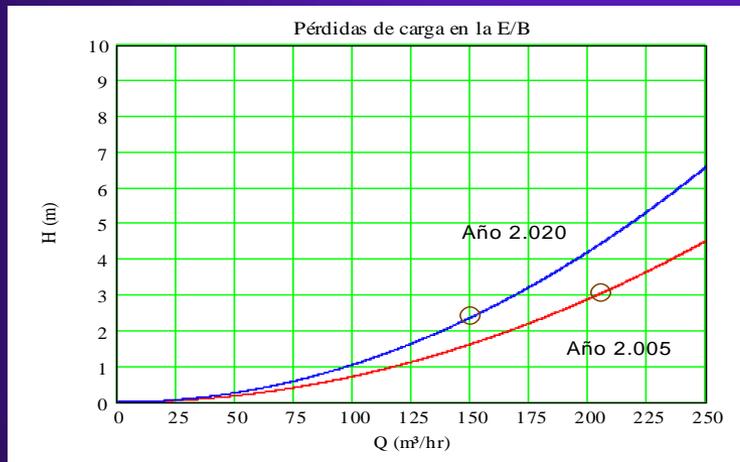
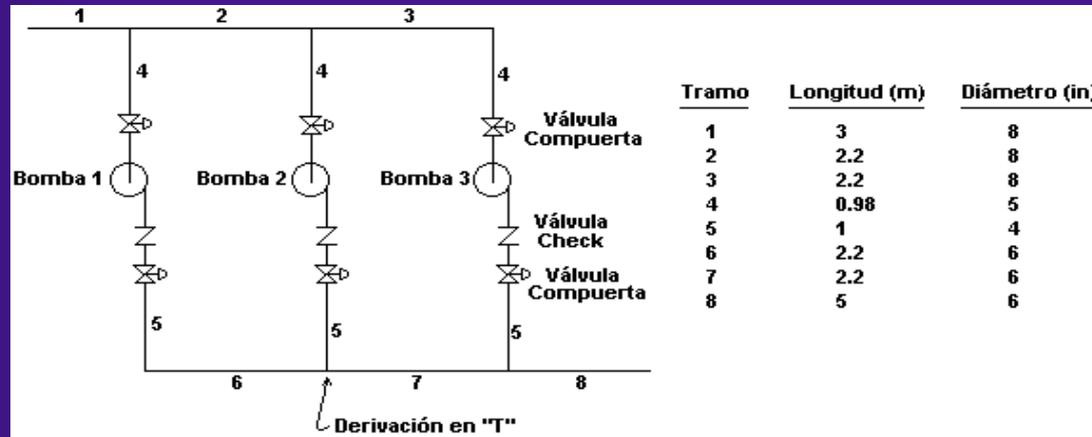
Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Diseño del Sistema de Succión y Descarga:

Tramo de tubería	Diámetro (pulgadas)	Caudal (l/s)	Velocidad Media (m/s)	Nº de Reynolds Re
D ₁	8	56,76	1,76	393.707
		41,58	1,29	288.413
D ₂	6	56,76	3,05	518.083
		41,58	2,23	379.526
D ₄	5	28,38	2,2	311.291
		20,79	1,61	228.039
D ₅	4	28,38	3,46	390.235
		20,79	2,53	285.870

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Pérdidas por Fricción en la Estación de Bombeo:



Año 2005: $h_f = 3,05$ m

Año 2020: $h_f = 2,39$ m

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Rugosidad de las Tuberías de la Red de Distribución:

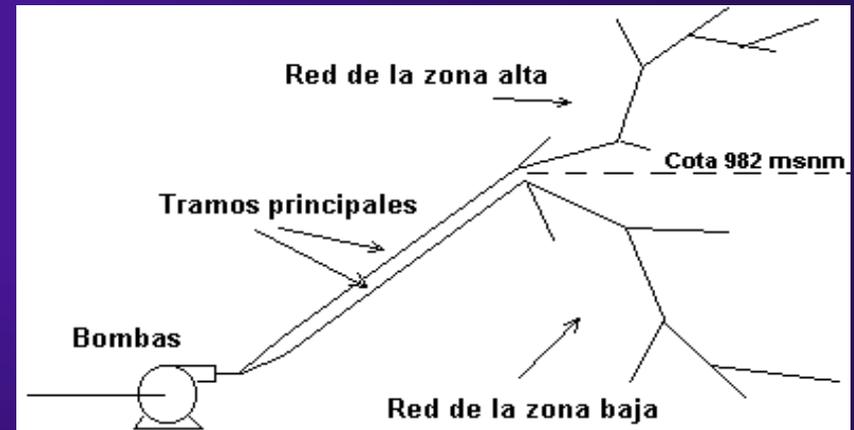
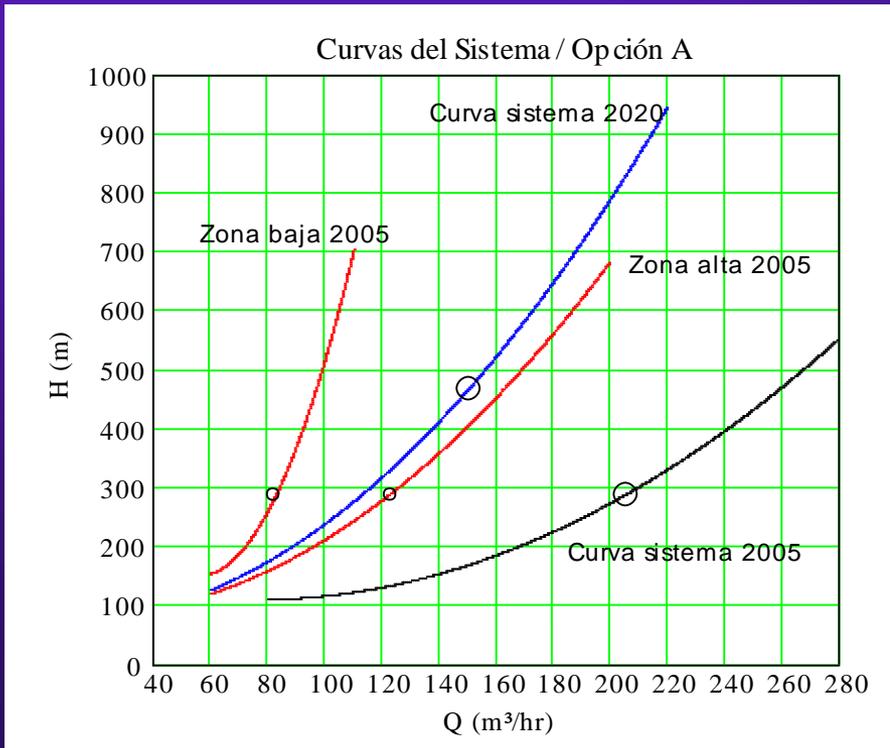
Consideración: **Crecimiento Lineal de la Rugosidad Absoluta**

Año	Rugosidad Absoluta (mm)	
	Hierro fundido dúctil	Hierro galvanizado
2005	1,525	1,417
2010	1,800	1,692
2015	2,075	1,967
2020	2,350	2,242

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Curva Característica del Sistema

Opción A

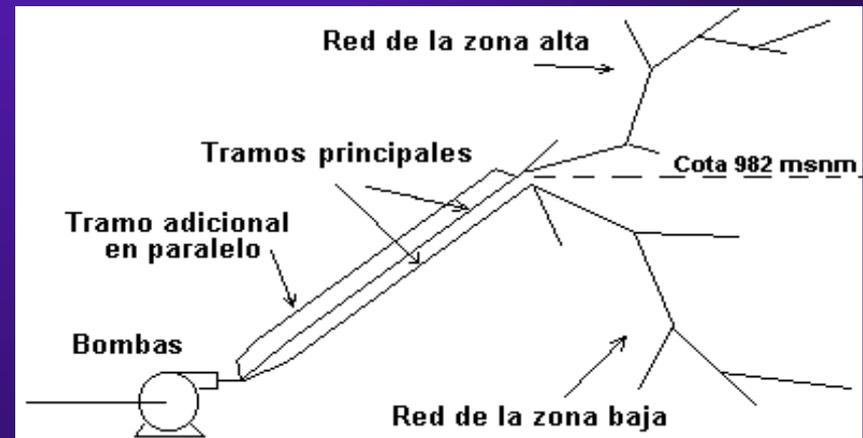
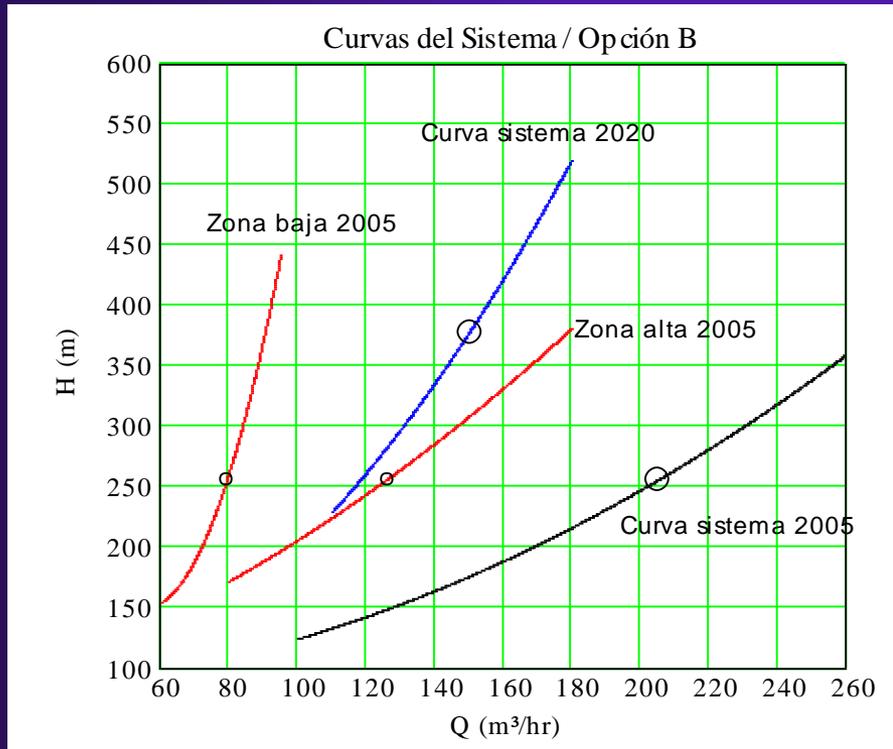


$$P_o = 214.45\text{hp}$$

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Curva Característica del Sistema:

Opción B

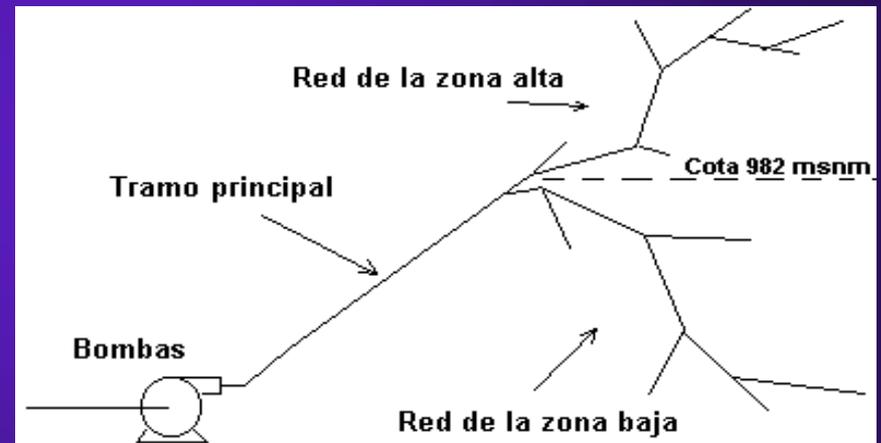
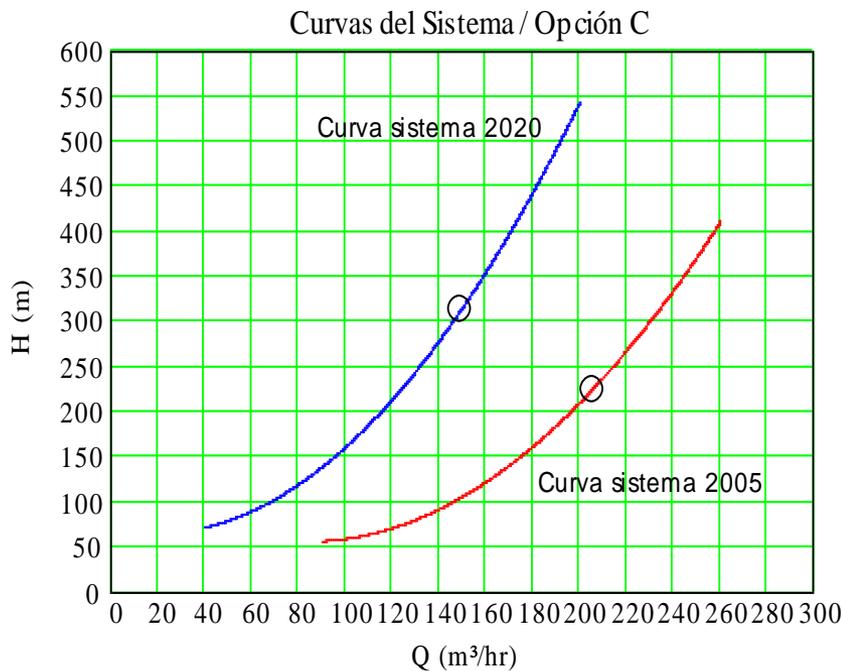


$$P_o = 173.58\text{hp}$$

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Curva Característica del Sistema:

Opción C



$$P_o = 143.28\text{hp}$$

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Curva Característica del Sistema:

Determinación de la Alternativa más Conveniente

OPCIÓN	CAPACIDAD DE LAS BOMBAS	CAPACIDAD DE LOS MOTORES
A	182 hp	225 hp
B	148 hp	182 hp
C	122 hp	143 hp

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Características de las Bombas

-Número de Unidades de Bombeo:

- 2 en operación

- 1 para emergencias y mantenimiento

-Número de Etapas por Unidad:

- 4 etapas cada unidad de bombeo

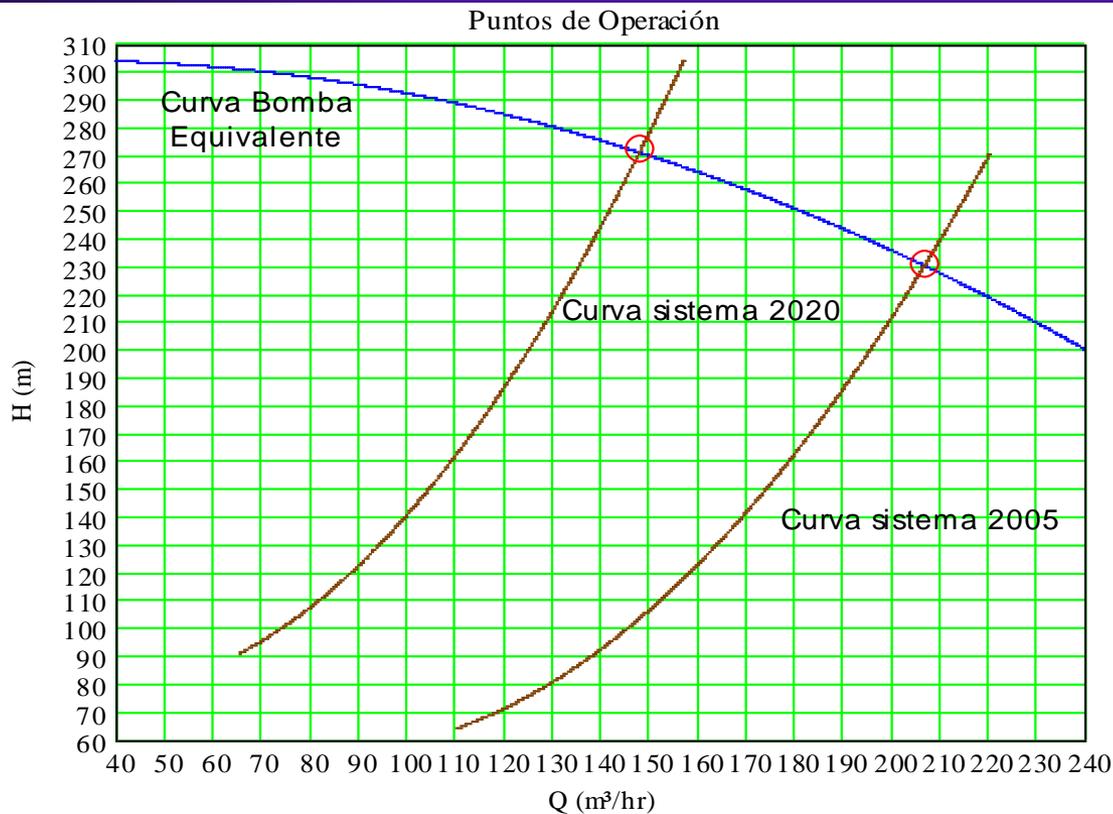
-Marca: KSB (generalmente utilizada en el IMAS)

-Modelo: WK 80

-Velocidad: 3500 RPM

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Características de las Bombas y del Sistema:



	AÑO 2.005		AÑO 2.020
	Zona Baja	Zona Alta	Zona Alta
Presión (m)	224	224	318
Caudal (m³/hr)	80	125	150

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Cavitación en las Bombas:

$$\text{Para } NPSH_{(\text{máximo})} = 9 \text{ m.c.a.} \Rightarrow P_s/\gamma_{(\text{mínima})} = 0,826 \text{ m.c.a.}$$

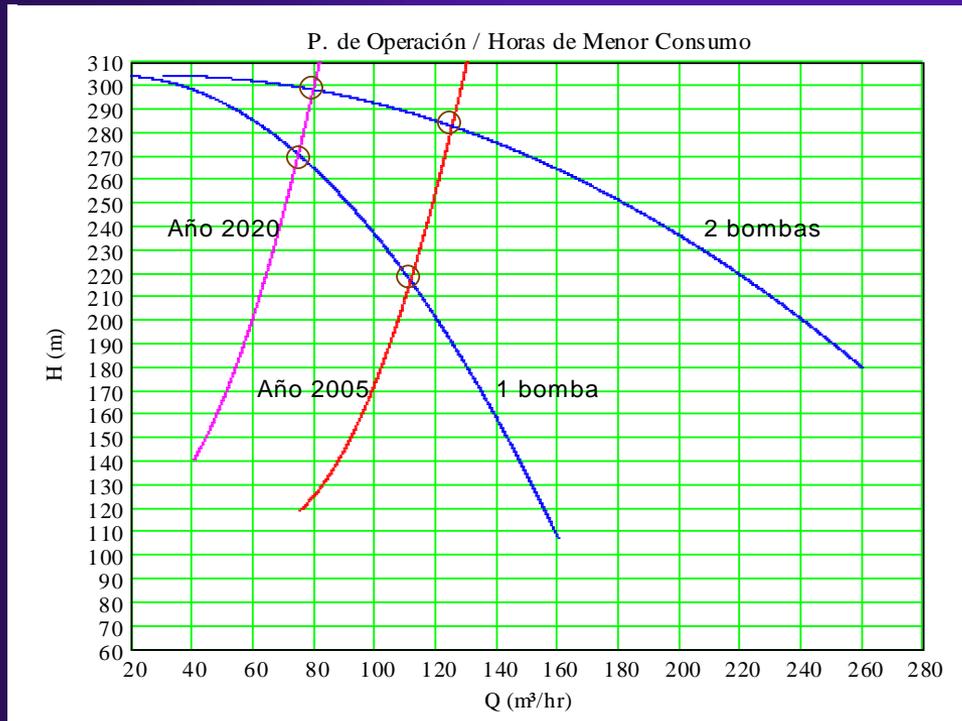
$$\text{Para } P_s/\gamma = 20 \text{ m.c.a.} \Rightarrow NPSH_{(\text{disponible})} = 30 \text{ m.c.a.}$$

$$NPSH_{(\text{disponible})} > NPSH_{(\text{requerido})}$$

No se produce cavitación en las bombas

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Suspensión de un Equipo en Horas de Menor Consumo:



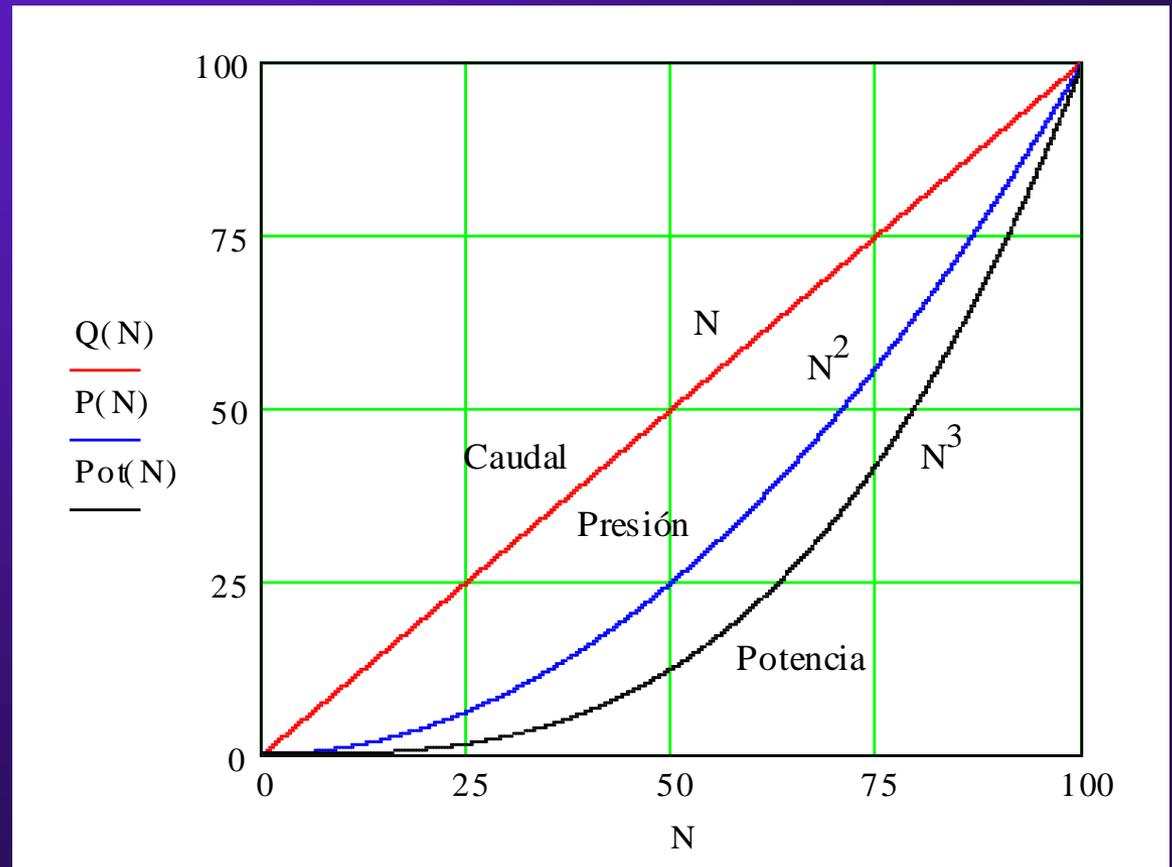
Operación	Costo Diario	Costo Mensual	Costo Anual
Sin Regulación	195.66 1 Bs.	5,870 MM Bs.	51,850 MM Bs.
Desconexión 1 bomba	178.17 4 Bs.	5,345 MM Bs.	47,216 MM Bs.
Ahorro en costo	17.487 Bs.	0,525 MM Bs.	4,634 MM Bs.

Se asigna un valor determinado de presión como referencia para la desconexión

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

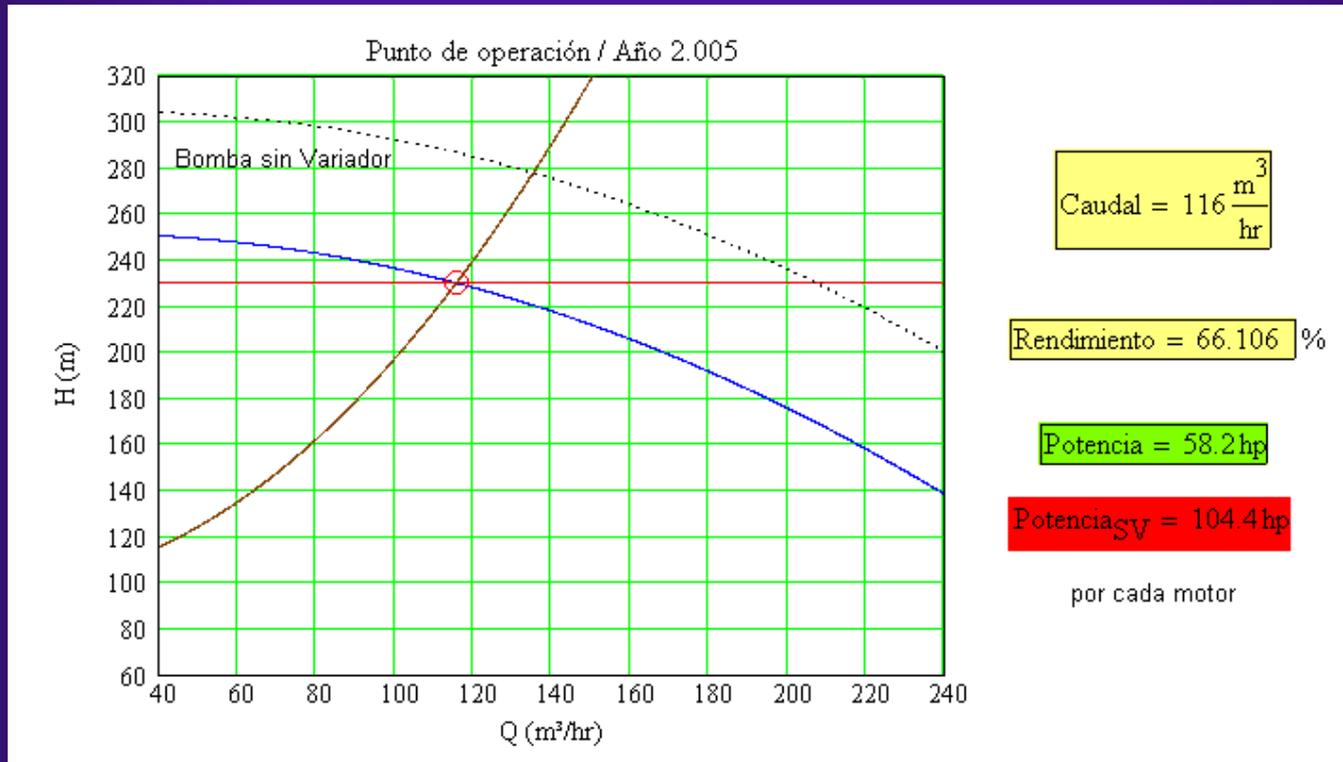
Variador de Velocidad de Motores Trifásicos de Inducción

- Leyes de Semejanza.
- Ideal para variaciones constantes del caudal bombeado.
- Disponibilidad de los equipos.



Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Utilización del Variador de Velocidad:

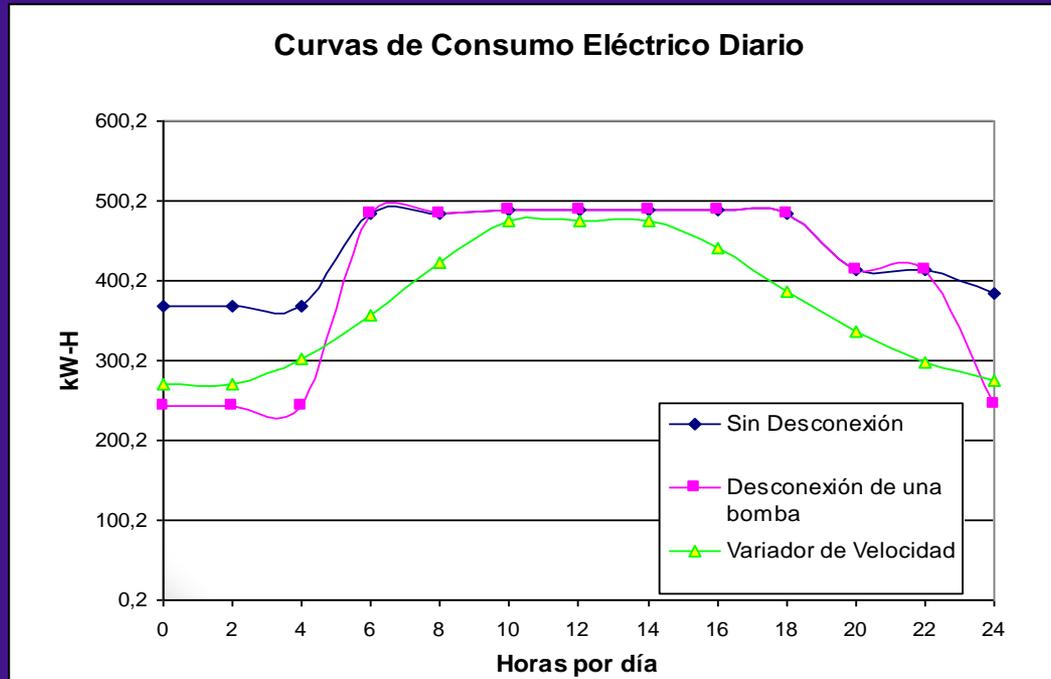


Animación

Se asigna un valor determinado de presión como referencia para el control de la velocidad

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Comparación de Costos de Operación:

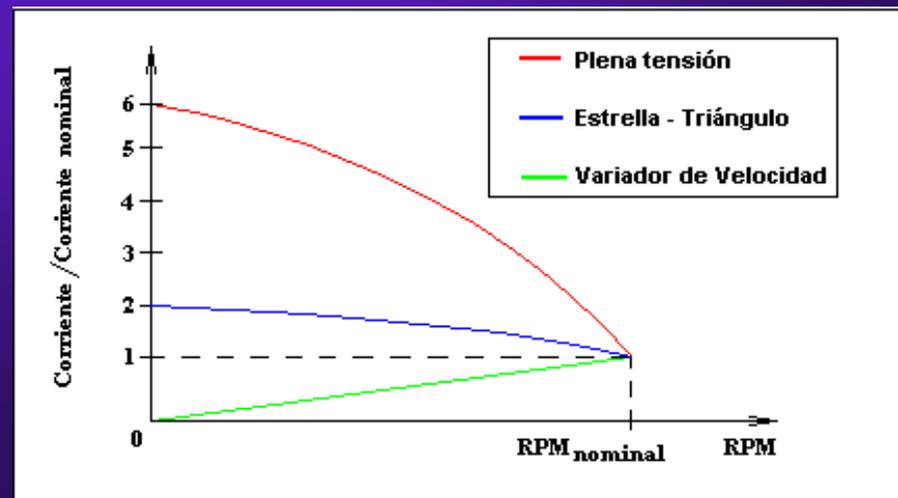


PERÍODO	COSTO EQUIVALENTE		
	Sin Regulación	Desconexión	Variador de V.
DIARIO	195.660 Bs.	178174 Bs.	163693 Bs.
MENSUAL	5,870 MM Bs.	5,345 MM Bs.	4,911 MM Bs.
ANUAL	51,850 MM Bs.	47,216 MM Bs.	43,379 MM Bs.
AHORRO	0,00 mm Bs.	4,634 MM Bs.	8,471 MM Bs.

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Ventajas Adicionales del Uso del Variador:

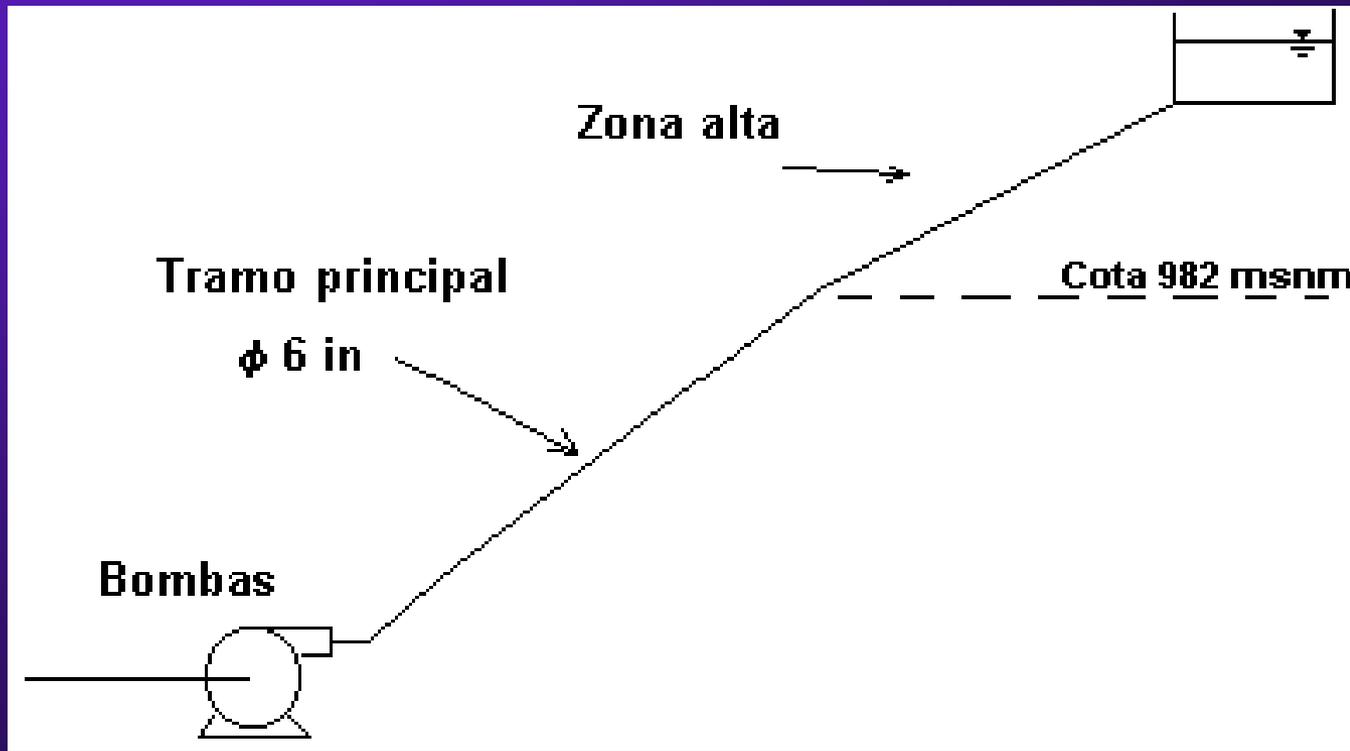
- Arranque gradual => *Aumento de la vida de los motores*
 - Menores solicitaciones en el conjunto en rotación
 - Disminución de la corriente de arranque
- Mayor disponibilidad de los equipos
- Alivio para la red eléctrica



Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

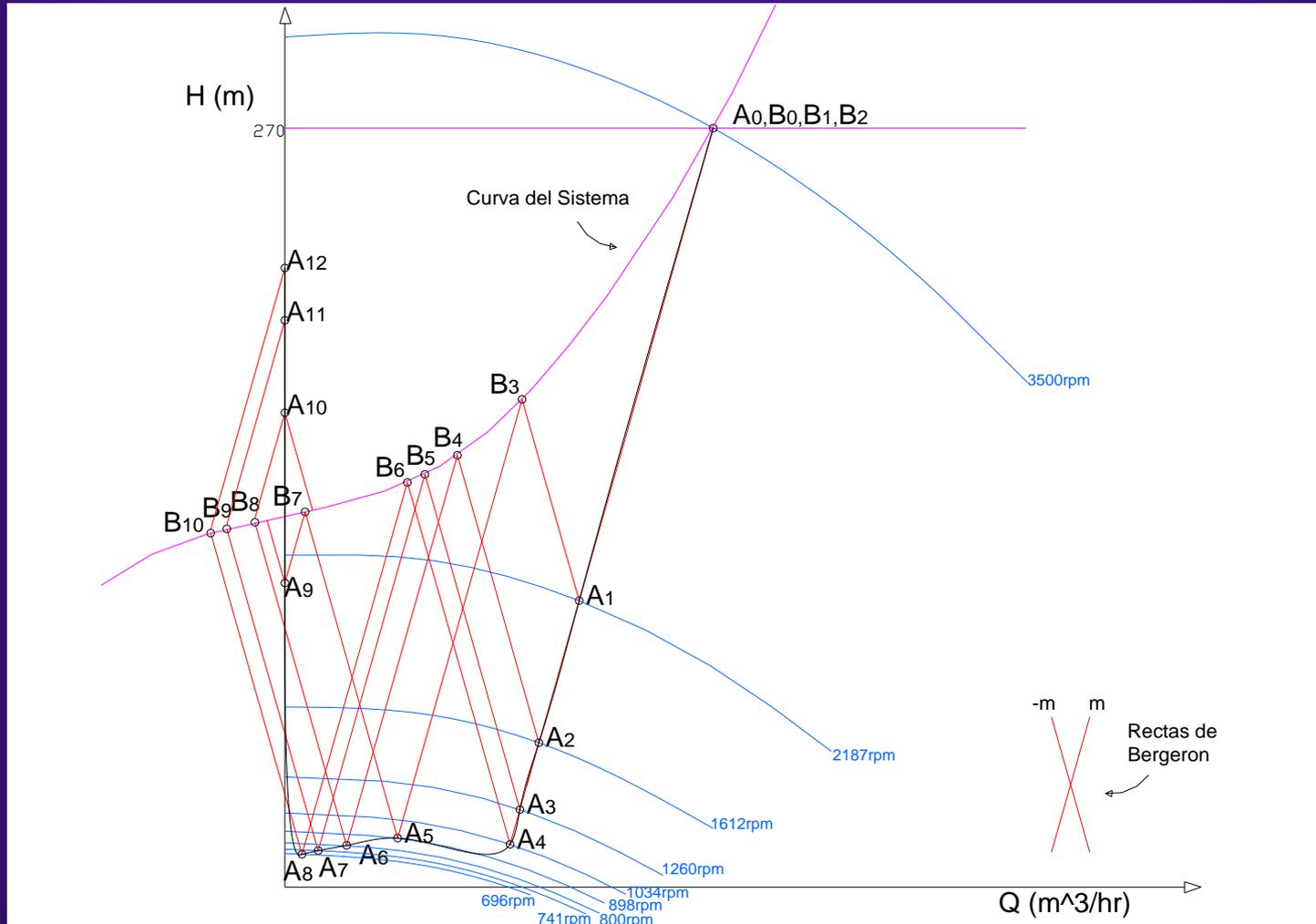
Golpe de Ariete por Falla en el Suministro Eléctrico

Simplificación de la Red de Distribución



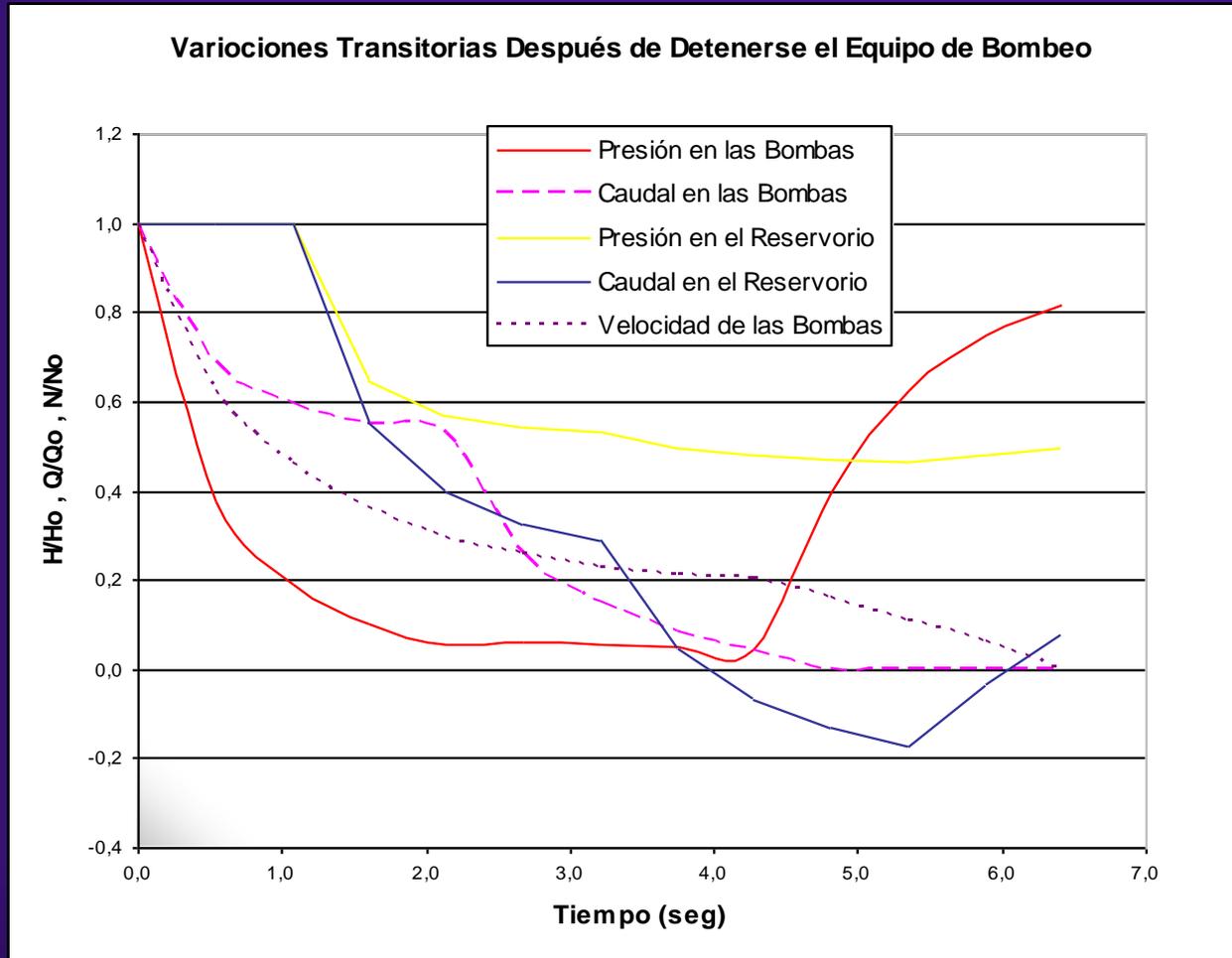
Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Golpe de Ariete por Falla en el Suministro Eléctrico:



Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

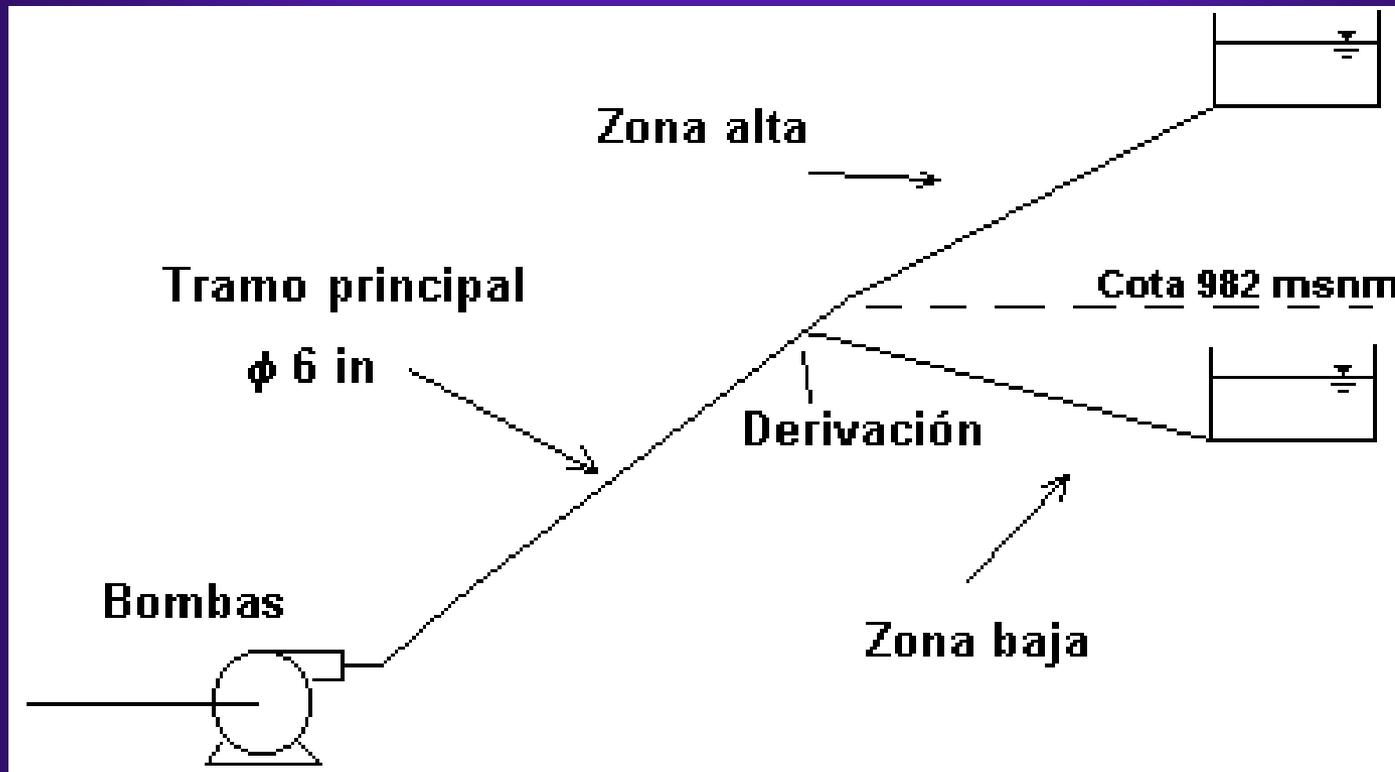
Golpe de Ariete por Falla en el Suministro Eléctrico:



Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

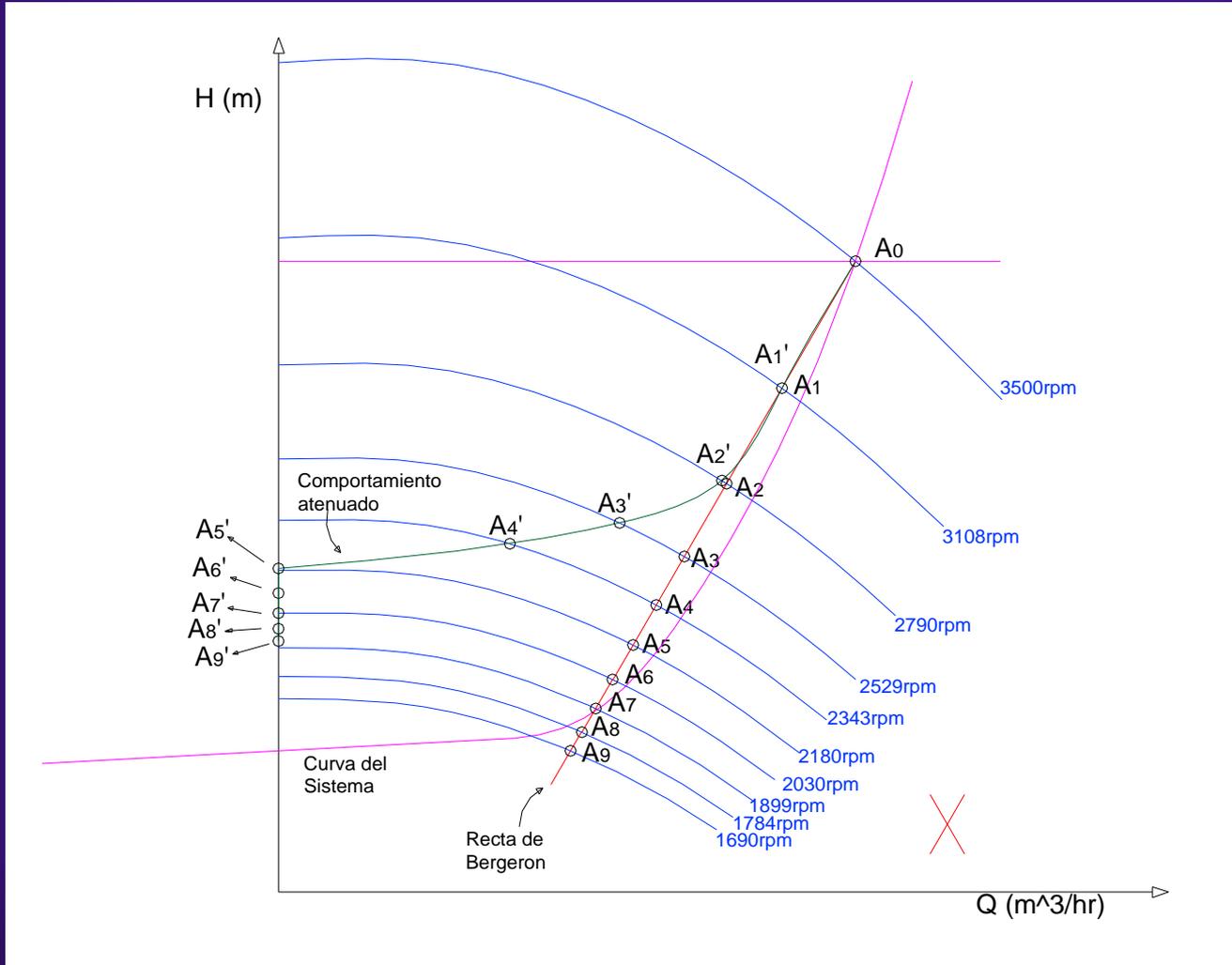
Golpe de Ariete por Falla en el Suministro Eléctrico:

Simplificación de la Red de Distribución



Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Golpe de Ariete por Falla en el Suministro Eléctrico:



Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Selección de Válvulas:

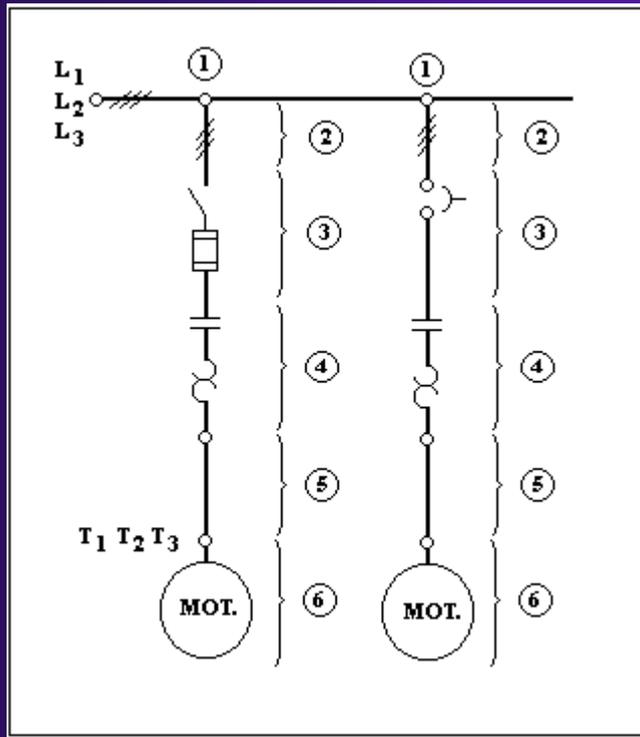
De acuerdo a su función y presión máxima de operación

Selección de Motores:

Tipo	Eléctrico Trifásico de Inducción (rotor jaula de ardilla)
Número de polos	2
Frecuencia	60 Hz
Tensión	230 / 460 Voltios
Intensidad nominal	185 Amp.
Potencia nominal	150 hp
Factor de potencia	0,9
Velocidad mecánica	3550 RPM
Par mecánico nominal	300 N.m
Rendimiento	95 %
Aislamiento	Clase F

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Instalaciones Eléctricas:

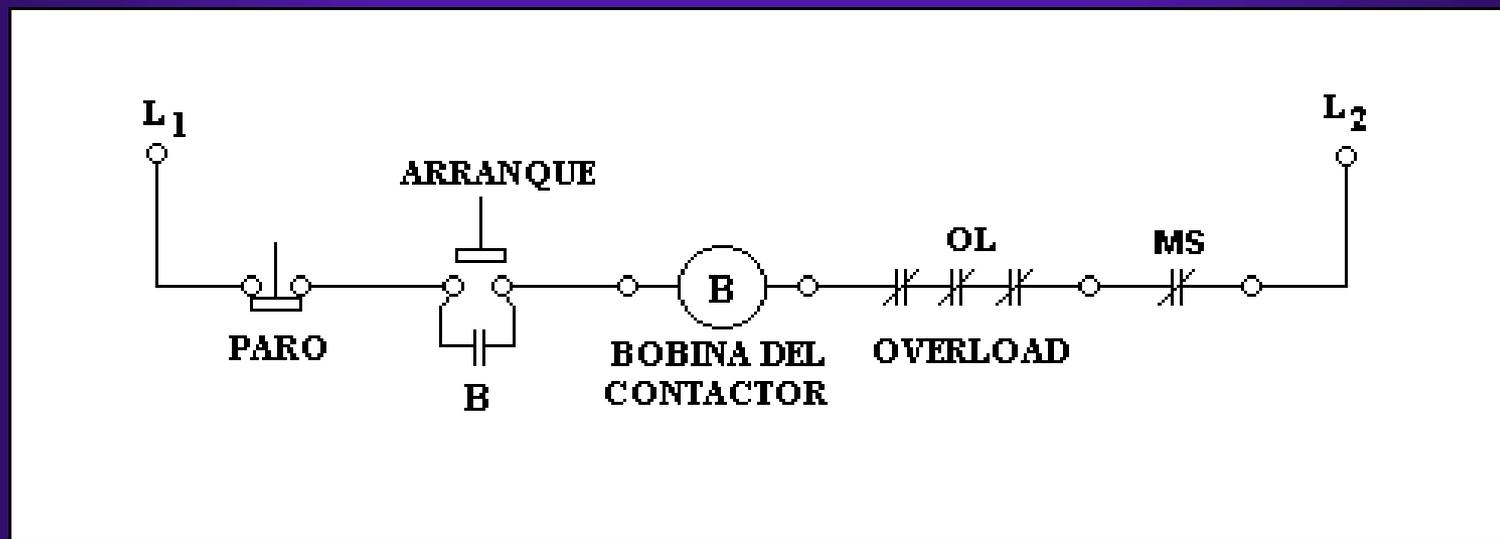


- (1) Fuente de alimentación trifásica (acometida eléctrica)
- (2) Alimentador del arrancador
- (3) Elemento de desconexión manual con protección ramal
- (4) Arrancador (contactor o contactores; relé de protec. de sobrecarga)
- (5) Alimentador del motor
- (6) Motor trifásico de inducción rotor jaula de ardilla

- Capacidad: 150 hp
- Arrancador: NEMA # 5
- Amperaje de placa: 184 Amp. (corriente nominal)
- Corriente para protección de corto circuito (protección ramal):
 - Fusible: 600 Amp.
 - Interruptor automático: 400 Amp.
- Aislamiento de los conductores: Tw (hasta 60° C)
- Calibre de los conduct.: Tw AWG # 300, sec. transv. 152 mm²
- Diámetro del conduit: 2 ½ pulgada
- Longitud máxima de los conductores para una caída de tensión de 2 por ciento: 440 pies = 134 metros

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Instalaciones Eléctricas:

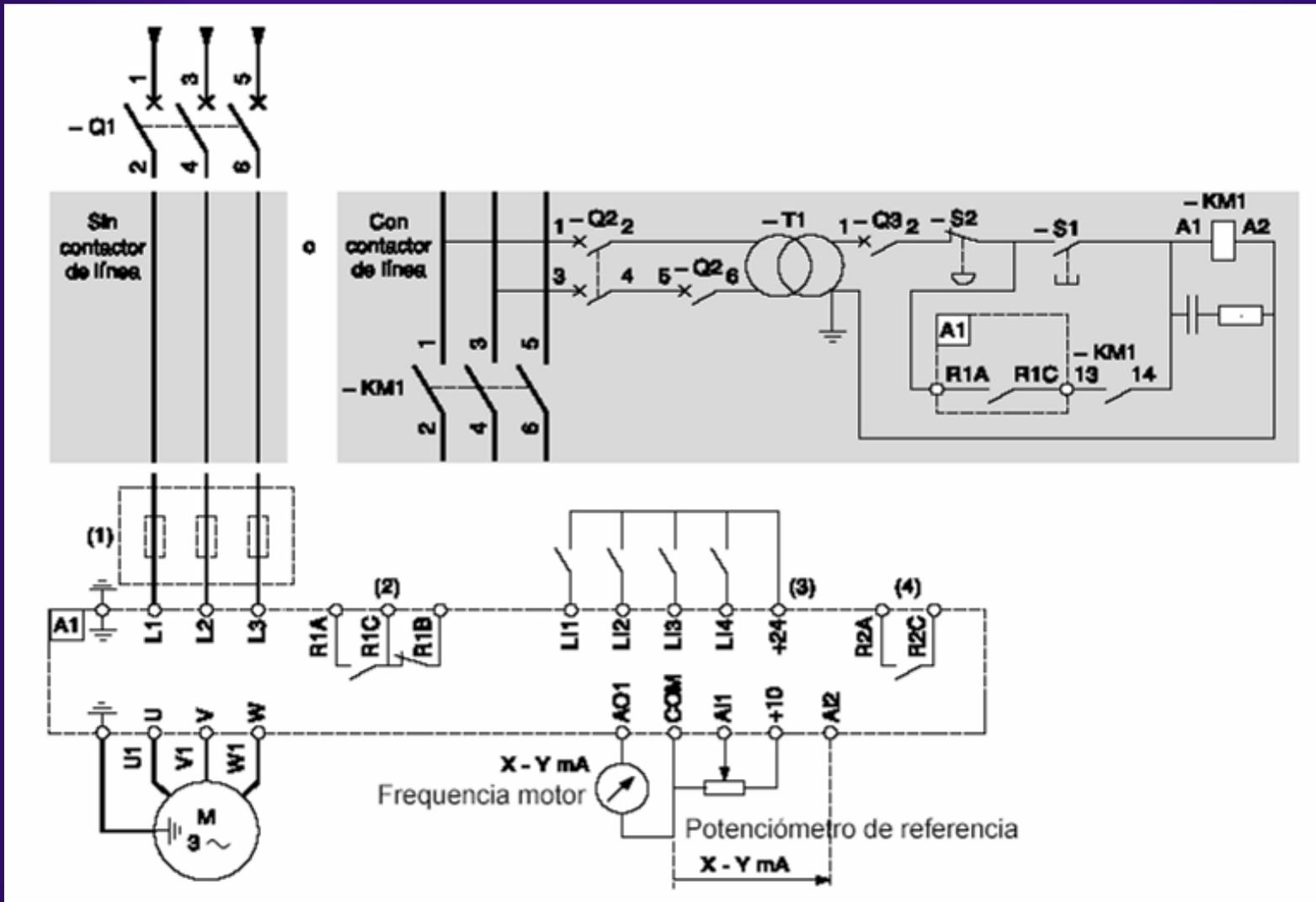


OL: protección de sobrecarga

MS: protección de marcha en seco

Diseño de la Nueva Estación de Bombeo

Instalaciones Eléctricas: Variador de Velocidad



Estudio Económico

Inversión Total Estimada:

CAPÍTULO	TOTALES (Bs.)	(%)
1. Obras Preparatorias para Estructuras	111.682,94	0,08
2. Infraestructura de Concreto	2.592.500,00	1,85
3. Súper Estructura de Concreto	5.544.670,72	3,96
4. Encofrados	489.801,32	0,35
5. Armadura de Refuerzo	2.085.400,00	1,49
6. Albañilería	2.079.949,23	1,48
7. Impermeabilización	643.648,40	0,46
8. Herrería	836.500,00	0,60
9. Acabado con Pinturas	122.678,97	0,09
10. Instalaciones Eléctricas	2.815.194,62	2,01
11. Instalaciones Electromecánicas	109.232.750,00	77,95
12. Obras de Servicios y Varios	13.570.000,00	9,68
TOTAL OBRA Bs.	140.124.776,2	

Conclusiones

- La falta de información (data técnica, poblacional, estadística) con respecto a las zonas populares en nuestro país, retrasa y dificulta el desarrollo de proyectos sociales.
- Una estimación bastante aproximada de las necesidades de una población en relación al consumo de agua en un período determinado es de suma importancia en el diseño los sistemas de abastecimientos de agua.
- El equipo de bombeo seleccionado se ajusta a los requerimientos hidráulicos, mecánicos, eléctricos y económicos de acuerdo a los cálculos realizados en el diseño de la estación.
- El variador de velocidad facilita un mejor funcionamiento de la estación de bombeo aumentando la vida útil de los equipos, disminuyendo el consumo energético y ajustándose a las variaciones del consumo de agua en la red de distribución.
- La propuesta realizada en este trabajo sugiere la instalación de tres grupos moto- bomba, la instalación y uso de dos variadores de velocidad y la instalación de una tubería de 6 pulgadas como tramo principal de la red de distribución.

Recomendaciones

- Se debe mejorar y aumentar la data existente respecto a los sistemas de abastecimiento de agua y estimaciones de población de las zonas populares, de tal manera que no sea un obstáculo en el desarrollo de proyectos sociales.
- No escatimar esfuerzos en lograr satisfacer las necesidades de una población ya que esto permite aumentar las posibilidades de desarrollo y bienestar social.
- Es muy recomendable el análisis preciso de las variaciones del consumo de una red de distribución en el diseño y selección del equipo de bombeo evitando así sobredimensionamientos o, por el contrario, proyectos insuficientes en su objetivo.
- Para lograr un buen funcionamiento del equipo seleccionado se debe trabajar en conjunto con el personal de instalación y el fabricante, de manera que se cubran aspectos técnicos del montaje.
- Se recomienda realizar investigaciones y pruebas específicas sobre la aplicación de los variadores de velocidad como método de ahorro de energía y mejoramiento de procesos.
- Se deben considerar con más ahínco las alternativas de ahorro de energía en los proyectos de ingeniería debido a la importancia de este tema en la realidad energética del nuevo milenio.

SESIÓN DE PREGUNTAS

Gracias por su
Atención

Alejandro Enrique Rivas Iribarren