

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA SANITARIA**



**PLANTEAMIENTO TECNICO ECONOMICO  
PARA EL DISEÑO DE REDES DE AGUA, PARA LA CIUDAD  
DE CALCA - CUSCO, CON FINES DE OPTIMIZACION**

**T E S I S**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO SANITARIO**

**ALFREDO ZAMALLOA SANTISTEBAN**

**PROMOCION 1979 - 2**

**Lima . Perú**

## INTRODUCCION

Es importante el estudio de los diseños y cálculos hidráulicos, empleados en las redes de agua potable, por su alta incidencia económica, en la ejecución de las obras.

Estando esta década caracterizada por un incremento en los planes de abastecimiento de agua potable, a las poblaciones peruanas, estos suponen fuertes inversiones en proyectos y obras.

De los cuales el (50 al 60%) de estos costos, son atribuibles a las redes de distribución.

Motivo suficiente para efectuar evaluaciones de las normas empleadas en los diseños, con el propósito de optimizarlos y adecuarlos a nuestra realidad socio-económica actual

# I N D I C E

CAPITULO I : GENERALIDADES Y COMENTARIOS, SOBRE EL DISEÑO DEL PROYECTO EXISTENTE DE LA RED DE AGUA POTABLE PARA CALCA.

1.1.0 GENERALIDADES

1.1.1 CARACTERISTICAS DE LA LOCALIDAD

1.1.2 SERVICIOS ACTUALES DE AGUA POTABLE

1.1.3 CALCULO POBLACIONAL FUTURO Y DE POBLACION ABASTECIDA.

1.1.4 DOTACION, VARIACIONES DE CONSUMO Y DENSIDAD POBLACIONAL.

1.2.0 COMENTARIOS

CAPITULO II : PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCION TECNICO-ECONOMICA DEL DISEÑO DE LA RED.

2.1 PRESENTACION Y ELECCION DE ALTERNATIVAS

2.2 ESTUDIO TECNICO DE LA SOLUCION

2.3 CALCULO Y EVALUACION ECONOMICA DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA.

CAPITULO III : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS :

A.- BIBLIOGRAFIA

B.- MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO DEL MINISTERIO DE VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN.

## INDICE DE PLANOS

A-1 - Plano General de la Ciudad en la Primera Etapa

B-1 - Plano General de la Ciudad en la Segunda Etapa

### PROYECTO DEL MINISTERIO DE VIVIENDA Y CONSTRUCCION

#### PRIMERA ETAPA :

A-2 - Plano de la Red de Distribución de Agua Potable.

A-3 - Plano de Areas de Influencia del Consumo en la Red de Distribución.

#### SEGUNDA ETAPA :

B-2 - Plano de la Red de Distribución de Agua Potable

B-3 - Plano de Areas de Influencia del Consumo en la Red de Distribución.

### PROYECTO DE OPTIMIZACION :

#### PRIMERA ETAPA :

C-1 - Red de Distribución.

C-2 - Plano de Areas de Influencia del Consumo en la Red.

#### SEGUNDA ETAPA :

D-1 - Red de Distribución

D-2 - Plano de Areas de Influencia del Consumo en la Red de Distribución.

E - Plano Isométrico de la Red de Distribución Optimizada.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES Y COMENTARIOS SOBRE EL DISEÑO DEL PROYECTO EXISTENTE DE LA RED DE AGUA POTABLE PARA CALCA

#### 1.1.0 GENERALIDADES

#### 1.1.1 CARACTERISTICAS DE LA LOCALIDAD

##### NOMBRE, UBICACION, ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR:

Calca, capital del distrito y provincia del mismo nombre, está ubicado en el Departamento del Cuzco. La provincia de Calca tiene una extensión de 3, 383 kilómetros cuadrados y cuenta con los siguientes distritos:

- |          |                 |          |
|----------|-----------------|----------|
| 1. Calca | 4. Lares        | 7. Taray |
| 2. Coya  | 5. Pisac        |          |
| 3. Lamay | 6. San Salvador |          |

La ciudad esta ubicada en el valle sagrado de los Incas, entre la intersección del río Vilcanota y Riachuelo Cochoc, que la recorre de nor-este a sur-este, al pie de las estribaciones de la montaña "Calvario", en las coordenadas; latitud sur 13° 20' 00" y longitud oeste 72° 03' 43".

Se encuentra en la zona sur oriental del territorio nacional, al norte de la ciudad del Cuzco, a 2,785 metros sobre el nivel medio del mar.

CLIMA, TOPOGRAFIA, GEOLOGIA, ACTIVIDAD SISMICA:

Fueron registrados entre los años 1975 a 1979, por el servicio nacional de hidrometeorología, estación de Calca, las siguientes temperaturas promedio mensuales:

TEMPERATURA - (GRADOS - CENTIGRADOS)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DI
	15.3	15.4	15.0	14.5	13.6	13.1	12.3	13.7	14.6	15.8	16.0	16.

Las temperaturas mas bajas, se registran los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto; oscilando entre (1 - 6) - grados centigrados.

Las precipitaciones fluviales más abundantes se dan entre los meses de Diciembre a Marzo con (70 - 140)mm.

Posee una topografía con pendiente aproximada de 30.5% por mil de nor-este a sur-este.

El suelo ha sido formado por material aluviónico, depositado por los ríos Vilcanota y Cochoc, compuesto por suelo arcillo-limoso y cantos rodados, en su mayor parte.

Esta rodeado por cerros con rocas de tipo ígneo -

y sedimentario, con historia de baja actividad sísmica - por los pocos daños materiales y humanos registrados en los sismos de la región.

CARACTERISTICAS SOCIO-ECONOMICAS:

El desarrollo de la provincia de Calca, depende principalmente de la producción agrícola, así lo revela el Censo Nacional del 04 de Junio de 1972, que nos da la siguiente información:

HABI- TAN - TES	P O B L A C I O N		
	URBANA	RURAL	TOTAL
	10,193	35,998	46,191

POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA DIVIDIDA POR  
ACTIVIDADES

Actividades	Habitantes
- Agricultura, Caza Silvestre	12,243
- Pesca	1
- Extracción Minera	20
- Industria Manufacturera	785
- Electricidad	1
- Construcción	177
- Comercio	540
- Transporte	85
- Financiamiento	20
- Servicios	722
- Rama no especificada	354
TOTAL	14,948
	=====

El sueldo mínimo en la provincia de Calca es de :  
S/. 28,500.00 el mes de Julio de 1,981.

AGRICULTURA:

Produce legumbres, hortalizas, cebada, trigo, pa -  
pas, maiz.

Frutas de diversa calidad: melocotones, peros, ciruelos ,  
fresas, etc.

Arboles: eucalipto, cipreces, alamos, sauces.

EDUCACION:

Centro Educativo N°	<u>Turno</u>	Alumnado
I 57	Mañana	90
50149	Mañana	470
50150	Mañana	232
50151	Mañana	297
50152	Mañana	298
50154	Mañana	241
51026 EBR	Mañana	246
51026 EBL	Nocturno	246
I.N.A. 28	Mañana	292
H. LUNA	Mañana	303
BELEN	Mañana	413
TOTAL DE EDUCANDOS:		3128

Fuente de Información: Núcleo de Educación de Calca  
Año : 1980

INFRAESTRUCTURA DE SALUD:

Cuenta con el "Centro de Salud de Calca", que de  
pende del área hospitalaria N° 1, Hospital Regional del  
Cuzco.



Funcionan también nueve (9) Centros Bases (Postas Médicas) distribuidos en los otros distritos de la provincia.

Personal del Centro de Salud de Calca

<u>Cargo</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Grado</u>
Dentista	1	Titulado
Médico	1	Secigrista
Obstetrix	1	Secigrista
Farmacéutica	1	Secigrista
Enfermera	1	Secigrista
Técnico Sanitario	4	Empleados
Chofer	1	Obrero
Encargado de Limpieza	1	Obrero

Servicios prestados:

Promedio:

- Consultas médicas externas	25/día
- Consultas de servicio dental	5/día
- Operaciones de cirugía menor	15/mes
Partos	12/mes
- Legados	3/mes

Cuenta con doce (12) camas.

Fuente de Información: Centro de Salud de Calca  
Año : 1980

CENTROS POLICIALES:

- Guardia Civil : 10 efectivos
- Guardia Republicana : 10 efectivos

**BOMBEROS:**

No cuenta con este servicio, en caso de incendio los vecinos con baldes y mangueras de 1/2" Ø (usadas para riego de huertas) le hacen frente.

**IGLESIAS:**

La iglesia esta situada en la Plaza de Armas de la ciudad.

**ENERGIA ELECTRICA:**

Funciona en forma permanente.

**SERVICIO TELEFONICO:**

Posee un teléfono público, con comunicación a la ciudad del Cuzco.

**ABASTECIMIENTO PUBLICO DE ALIMENTOS:**

Cuenta con un pequeño mercado público en la Plaza de Armas y pequeñas bodegas distribuidas en la ciudad . Actualmente se esta construyendo el nuevo Mercado de Abastos, que contará con 100 puestos de venta y 30 tiendas.

**URBANISMO:**

Tiene la característica de las poblaciones rurales, con calles angostas, casas de adobe y la mayor parte de las viviendas con huertos.

**VIAS DE COMUNICACION:**

Posee tres (3) vías principales: Las carreteras as

faltadas; al Cuzco (50 Km.), Urubamba (20 Km.), formando éstas partes del circuito turístico del Valle Sagrado de los Incas, fomentando el turismo atraído por Ferias Dominicales Artesanales.

La carretera rumbo al Valle de quello-uno, se inicia en Calca, confiriéndole un pequeño movimiento comercial.

### 1.1.2 SERVICIOS ACTUALES DE AGUA POTABLE

La administración del servicio de agua potable de Calca a Mayo de 1980, tiene la siguiente información:

TARIFA	CATEGORIA	DIAMETRO (PULGADAS)	Nº DE USUARIOS	CONSUMO MENSUAL (m <sup>3</sup> )	IMPORTE (S/.)	CONSUMO PROMEDIO MENSUAL (m <sup>3</sup> )	IMPORTE PROMEDIO MENSUAL (S/.)
01	Doméstico	1/2"-5/8"	474	9480	73815	20	156
02	Doméstico	1/2"-5/8"	31	1240	9657	40	312
09	Comercial	1/2"-5/8"	22	1100	15730	50	715
16	Comercial	1/2"-5/8"	17	481	5304	28	312
23	Industrial	1/2"-5/8"	2	200	5200	100	2600
TOTALES:			546	12501	109,706	23	201

La captación esta ubicada en la cota 2920 m. y esta se realiza mediante el canal que abastecía a la antigua Planta Eléctrica y a través de galerías del río Cochocc.

La tubería de aducción a la Planta de Tratamiento, es de 225 m. de longitud, de 8" de diámetro, tipo Hume de 25 lbs/pulg<sup>2</sup>.

La Planta de Tratamiento consta actualmente de: -  
Floculador, sedimentador, 2 filtros y un reservorio de -  
425 m<sup>3</sup> de capacidad.

El reservorio posee tomando los datos del proyecto existente, capacidad de almacenamiento hasta el año 2,000 contando además con reserva para incendio.

COMPROBACION:

$$Q_p = (8000 \text{ HAB}) (150 \text{ lts/hab./día})(1 \text{ m}^3/1000 \text{ lts.})$$

$$Q_p = 1200 \text{ m}^3/\text{día}$$

Reserva de Incendio : Consumo de un hidrante por dos horas.

$$V = 15 \text{ lts/seg} \times (7200 \text{ seg/hora})(\text{m}^3/1000 \text{ lts})$$

$$V = 108 \text{ m}^3$$

Volumen requerido:

$$V = 1200 \text{ m}^3/\text{día} \times 0.25 + 108 \text{ m}^3 = 408 \text{ m}^3$$

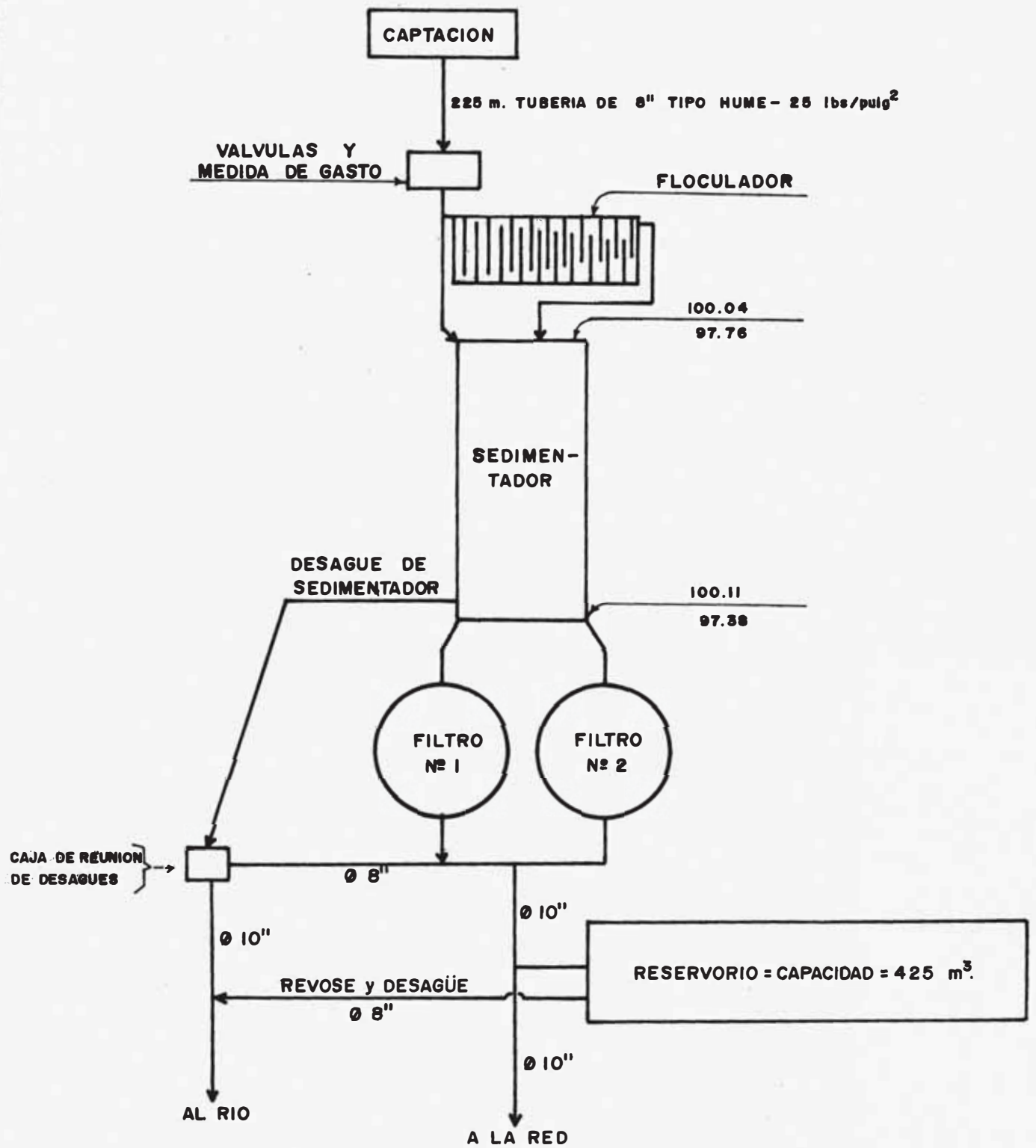
$$V = 408 \text{ m}^3$$

La reserva para incendio es el 26.47 por ciento de la capacidad total del reservorio.

DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO:

De la captación el agua pasa a la cámara de válvula -

# ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE CALCA



las, luego al floculador de 20 m. x 3 m. con paletas verticales.

Del floculador o directamente, el agua pasa al sedimentador de 16.00 m. x 7.20 m. de cotas :

Entrada : 100.11/97.76 y Salida: 100.04/97.38, continuando el tratamiento a través de dos (2) filtros circulares de 10 m. de diámetro cada uno.

Luego pasa al reservorio de 5.6 m. x 24.6 m. de un volumen de 425 m<sup>3</sup> y de allí a la red de distribución con una tubería de 8" de diámetro.

Los reboses y desagues de la Planta, son arrojados al río Cochocc adyacente a la Planta de Tratamiento de Agua.

La red de abastecimiento de agua, se encuentra en buen estado físico, las especificaciones y detalles del mismo se aprecian en el Plano de la Red existente, en el que notamos grifos contra incendio.

La presión de la red permite un normal abastecimiento a la ciudad, a excepción de las viviendas ubicadas inmediatamente después de la Planta, que no tienen presión adecuada para un normal servicio.

La red de alcantarillado esta en buen estado físico, sirviendo a casi la totalidad de las viviendas que poseen agua potable.

### 1.1.3 CALCULO POBLACIONAL FUTURO Y DE POBLACION ABASTECI

El período de diseño o número de años, para el --

cual deben ser adecuados el sistema propuesto, sus estructuras componentes y equipos, es de 20 años (1980-2000) en el proyecto del Ministerio de Vivienda y Construcción, el que adoptamos por el objetivo del presente trabajo y que considero adecuado para las características de la localidad.

El número de personas que utilizarán el sistema o población de diseño lo estimaremos a través de los siguientes métodos:

- A. Procedimientos generales o métodos de componentes.
- B. Modelos matemáticos
- C. Modelos de correlación
- D. Modelos de población

#### A. PROCEDIMIENTOS GENERALES

Cumple con la ecuación:

$$P(n+x) = P_n + (N + I) - (D + E) + P_f$$

Siendo:

$P_n$  = Población base en el año "n".

$N$  = Nacimientos entre los años "n" y "(n + x)".

$I$  = Inmigraciones entre los años "n" y "(n + x)".

$D$  = Defunciones entre los años "n" y "(n + x)".

$E$  = Emigraciones entre los años "n" y "(n + x)".

$P_f$  = Población flotante.

Las inmigraciones dependen principalmente de la situación económica de la región, país, manifestándose en

el creciente empleo o creencia de la existencia de mas empleo, mejor remuneración, condiciones de trabajo (horario mas corto, seguridad, protección de la salud y variedad de actividades), factor salud (mejor asistencia sanitaria, mejor clima, etc.); factor cultural (escuelas técnicas, - universidades, etc.).

La emigración de la población depende de los factores inversos a los mencionados anteriormente.

En el distrito de Calca la situación económica es mejor que en los otros distritos de la provincia del mismo nombre, al centralizar éste el insipiente comercio por su categoría de capital de provincia con sus implicancias político-administrativas y de la captación de fuentes económicas del turismo a través de Ferias Dominicales.

En el factor salud; el centro de salud que posee el distrito de Calca es el único de la provincia y cuenta con Médico y Odontólogo; contando con nueve (9) Postas Médicas anexas, en los otros distritos atendidos por Auxiliares de Enfermería.

Infraestructura Educativa; tenía 3128 educandos el año 1980 en turnos : diurno y nocturno, a los cuales acuden de los distritos vecinos.

Por todos estos factores existe hacia el distrito de Calca inmigración proveniente de los otros distritos de la provincia.



La emigración se registra principalmente hacia la ciudad del Cuzco (a 50 Km. de distancia) debido a:

Factor económico:

El aspecto político administrativo de la ciudad del Cuzco, capital de Departamento, sede principal de "ORDES", que tiene a su cargo a los Departamentos de Apurímac y Madre de Dios, que conlleva a un comercio fluido en la ciudad. El aspecto turístico es importante por darse este en gran escala, al ser Cuzco "capital arqueológica de América", movilizándolo a muchos turistas que dejan muchas divisas.

Factor salud:

La ciudad del Cuzco a diferencia de las provincias que integran el Departamento, cuenta con dos hospitales con infraestructura necesaria, para casi todo tipo de intervención en pro de la salud, brindando servicios a toda la región sur-oriente.

Factor educacional:

Cuenta con enseñanza a nivel primario, secundario y superior a través de las Universidades: San Antonio Abad y Andina.

Por lo mencionado existe emigración hacia la ciudad del Cuzco principalmente, y a otros lugares. No existe ningún tipo de estudio de emigraciones e inmigraciones para Calca, por lo que basándonos en los factores antes mencionados adoptaremos que las emigraciones

son iguales a las inmigraciones.

Crecimiento Vegetativo:

Los nacimientos y defunciones dependen de los progresos médicos, niveles de vida, mejoramiento sanitario, programas de control de la natalidad, etc.

Datos estadísticos de Calca:

AÑO	CRECIMIENTO POBLACIONAL NACIMIENTOS "N"	TASA DE CRECIMIENTO DEFUNCIONES "D"	"N-D"	POBLACION HABITANTES	FUENTE DE INFORMACION
1940				3037	Censo Nac.
	452 Hab/21 años	0.149/en 21 años			
1961				3489	Censo Nac.
	762 Hab/11 años	0.218/en 11 años			
1972				4251	Censo Nac.
1973	376	230	146		Consejo de Calca.
1974	334	255	79		Consejo de Calca.
1975	385	141	244		Consejo de Calca.
1976	572	163	409		Consejo de Calca.
1977	263	180	83		Consejo de Calca.

Como podemos apreciar del año 1940 a 1961 se regis -

tro una tasa de crecimiento poblacional de 0.149 en 21 años.

De 1961 a 1972 la tasa de crecimiento poblacional fue de 0.218 en 11 años.

Las estadísticas sobre nacimientos y defunciones de los registros del Consejo del distrito de Calca muestran una variación del incremento poblacional no homogéneo.

En el Instituto Nacional de Planificación en el Departamento de demografía, manifestaron que los datos proporcionados por el Consejo no son confiables, debido a la no clasificación cuidadosa de las estadísticas correspondientes a cada uno de los distritos de la provincia.

Al registrarse nacimientos y defunciones de un distrito en otro, por la cercanía geográfica, facilidades de vías de comunicación y centralismo político-administrativo de la provincia.

Por lo mencionado adoptaremos para el cálculo poblacional vegetativo la tasa de crecimiento poblacional de los últimos dos censos.

- Tasa de crecimiento en 11 años : 0.218
- Tasa de crecimiento anual : 0.0198
- Tasa de crecimiento en una década : 0.198

$$P_f = P_i (1 + i)^t$$
$$P (1980) = 4251 (1 + 0.198)^{0.8}$$
$$P (1980) = 4912$$
$$P (2000) = 4251 (1 + 0.198)^{2.8}$$
$$P (2000) = 7050$$

Población Flotante:

La ciudad alberga los meses de enero, febrero y marzo, población en su mayoría proveniente del Cuzco, que viene a pasar los meses de vacaciones escolares disfrutando del clima y campiña. El movimiento turístico aprovechado en la ciudad de Calca es escaso actualmente por falta de infraestructura, pese a ser integrante del Valle Sagrado de los Incas y tener dos Baños medicinales termales.

No existe ningún tipo de información sobre la población flotante, la estimaremos en base a inspección ocular

Para 1980 en 4% y un incremento del 10% para el año 2000 o sea 14%.

Tenemos entonces:

$$P (1980) = 4912 + 196 = 5108$$
$$P (2000) = 7050 + 987 = 8037$$

Estimamos:

- Población el año 1980 = 5108 habitantes
- Población el año 2000 = 8037 habitantes

### B.1 MODELOS MATEMATICOS

Existen curvas matemáticas que permiten estimar la población intercensal y postcensal, estas curvas ayudan a extrapolar tendencias pasadas, pero no toman en cuenta los cambios sociales y económicos.

#### B.1.1 INTERPOLACION Y EXTRAPOLACION LINEAL

Resulta de suponer que la tasa de variación de la población ha sido y será constante.

$$\frac{dP}{dt} = K a = \text{constante}$$

$$\int_i^F dP = \int_i^F K a dt$$

$$P_f - P_i = K a (T_f - T_i)$$

$$P_f = P_i + K a (T_f - T_i)$$

Que es:

$$Y = a + b x \quad \text{Ecuación de la recta}$$

$$K a = \frac{P_f - P_i}{T_f - T_i}$$

Para el trazo de la recta se utiliza el método de los mínimos cuadrados.

$$\begin{array}{ll} X = \text{Tiempo} & Y = n a + b x \\ Y = \text{Población} & XY = a x + b x^2 \end{array}$$

Siendo:

n intervalo entre dos censos

"a" y "b" son constantes

DATOS:

AÑO	X	Y	XY	X <sup>2</sup>
1940	1	3037	3,037	1
1961	21	3489	73,269	441
1972	32	4251	136,032	1024

$$\sum X = 54 \quad \sum Y = 10,777 \quad \sum XY = 212,338 \quad \sum X^2 = 1466$$

$$n = 3 \quad \sum_{i=1}^n Y_i = n a + b \sum X_i$$

$$\sum X_i Y_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2$$

Reemplazando:

$$10,777 = (3) a + (54) b$$

$$212,338 = (54) a + (1,466) b$$

Tenemos:

$$a = 2908$$

$$b = 38$$

$$Y = 2908 + 38 X$$

$$\text{AÑO : 1980 : } X = 40 \quad Y (1980) = 2908 + 38 (40) = 4428$$

$$\text{AÑO : 2000 : } X = 60 \quad Y (2000) = 2908 + 38 (60) = 5128$$

Estimamos:

Población el año 1980 : 4428 habitantes

Población el año 2000 : 5128 habitantes

### B.1.2 CRECIMIENTO GEOMETRICO

Supone que el crecimiento de la población es proporcional a la población existente en un momento determinado.

$$\frac{dP}{dt} = KP \quad \int \frac{dP}{P} = \int K dt$$

$$\ln P_f - \ln P_i = K (T_f - T_i)$$

$$\ln P_f = \ln P_i + K (T_f - T_i)$$

que es la ecuación de la recta expresado en logaritmos.

$$Y = a + b x$$

$$Y = \ln P_f$$

$$a = \ln P_i$$

$$b = \text{constante geométrica}$$

$$x = \text{tiempo}$$

$$P_f = P_i \cdot e^{k (T_f - T_i)}$$

$$K = \frac{\ln P_f - \ln P_i}{T_f - T_i}$$

Las constantes respectivas pueden determinarse utilizando el método de los mínimos cuadrados.

$$Y = n a + b x$$

$$XY = a x + b x^2$$

$Y = \text{Ln } P$        $a$  y  $b$  son constantes que graficado en papel aritmético tendremos una curva, en papel semilogarítmico una recta.

DATOS:

$X_i$	P	$Y = \text{Ln } P$	$X Y$	$X^2$
0	3037	8.018	0	0
2.1	3489	8.157	17.13	4.41
3.2	4251	8.355	26.74	10.24

$$\sum X = 5.3 \quad \sum Y = 24.530 \quad \sum XY = 43.87 \quad \sum X^2 = 14.65$$

$$n = 3$$

$$\sum Y_i = n a + b \sum X_i$$

$$\sum X_i Y_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2$$

Reemplazando:

$$24.53 = (3) a + (5.3) b$$

$$43.87 = (5.3) a + (14.65) b$$

Tenemos la ecuación:

$$Y = 8.00 + 0.1007 X$$

Siendo:

$$Y = \text{Ln } P_f \Rightarrow P_f = e^Y$$

AÑO	PERIODO DE TIEMPO	Y	POBLACION
1980	4.00	8.403	4461
2000	6.00	8.605	5459



Estimamos:

Población el año 1980 : 4461 habitantes

Población el año 2000 : 5459 habitantes

### B.1.3 CRECIMIENTO PARABOLICO

En la práctica se encuentran a menudo tendencias - que toman la forma de una parábola, que en general pueden adaptarse a la siguiente ecuación:

$$Y = a + b x + c x^2 + d x^3 + \dots$$

Si se considera la ecuación hasta la segunda potencia de "x" estaremos hablando de una parábola de segundo grado y si fuera hasta la tercera potencia sería de una parábola de tercer orden.

Tenemos de segundo orden las ecuaciones:

$$\sum Y = n a + b \sum x + c \sum x^2$$

$$\sum X Y = a \sum x + b \sum x^2 + c \sum x^3$$

$$\sum X^2 Y = a \sum x^2 + b \sum x^3 + c \sum x^4$$

Y = Población

X = Tiempo

DATOS:

	$X_i$	$Y_i$	$X_i Y_i$	$X_i^2$	$X_i^3$	$X_i^2 Y_i$	$X_i^4$
	1	3,037	3,037	1	1	3037	1
	21	3,489	73,269	441	9261	1'538,649	194,481
	32	4,251	136,032	1024	32768	4'353,024	1'048,576
$\Sigma$	54	10,777	212,338	1466	42030	5'894,710	1'243,058

Reemplazando:

$$10,777 = 3 a + 54 b + 1,466 c$$

$$212,338 = 54 a + 1,466 b + 42,030 c$$

$$5'894,710 = 1,466 a + 42,030 b + 1'243,058 c$$

Resolviendo :

$$Y = 3047 - 10.67 X + 1.51 X^2$$

$$\text{Año 1980 : } X = 40 \Rightarrow Y (1980) = 5,036$$

$$\text{Año 2000 : } X = 60 \Rightarrow Y (2000) = 7,845$$

Estimamos:

Población el año 1980 : 5036 habitantes

Población el año 2000 : 7845 habitantes

#### B.1.4 CURVA EXPONENCIAL MODIFICADA (FOLWELL)

Se aparta de la tendencia de la curva de progre  
sión geométrica y se expresa:

$$P_T = a + b c^t$$

a, b, c, constantes.

Para determinar las tres constantes son necesarias las operaciones siguientes: Los datos censales procesarlos - de manera tal, que se tenga un número de censos múltiplo de tres.

A su vez separar los datos censales en tres grupos y sumar los valores de cada uno de ellos.

Estos subtotales se expresa con los siguientes simbolos :

$s_1, s_2, s_3$ .

Se calculan las diferencias entre estos subtotales:

$$d_1 = s_2 - s_1$$

$$d_2 = s_3 - s_2$$

Las constantes  $a, b, c$  quedan definidas por las relaciones siguientes:

$$c^n = \frac{d_2}{d_1} = \frac{s_3 - s_2}{s_2 - s_1}$$

$$b = \frac{d_1 (c-1)}{(c^n - 1)^2} = \frac{(s_2 - s_1) (c-1)}{(c^n - 1)^2}$$

$$a = \frac{1}{n} \left( s_1 - \frac{d_1}{c^n - 1} \right)$$

Para constituir los tres grupos iguales y regularmente espaciados es necesario realizar previamente una interpolación lineal.

DATOS:

<u>Año</u>	<u>Población</u>
1950	3110
1960	3420
1970	4080

Tenemos:

$$s_1 = 3110$$

$$s_2 = 3420$$

$$s_3 = 4080$$

$$n = 1$$

$$d_1 = s_2 - s_1 = 3420 - 3110 = 310$$

$$d_2 = s_3 - s_2 = 4080 - 3420 = 660$$

$$c^n = \frac{d_2}{d_1} \quad c = \frac{d_2}{d_1} = \frac{660}{310} = 2.13$$

$$b = \frac{d_1 (c-1)}{(c^n - 1)^2} = \frac{d_1 (c-1)}{(c - 1)^2} = \frac{310 (2.13-1)}{(2.13 - 1)^2} = 274$$

$$a = \frac{1}{n} \left( s_1 - \frac{d_1}{c^n - 1} \right) = s_1 - \frac{d_1}{c - 1} = 3110 - \frac{310}{2.13-1} = 2836$$

Entonces:

$$a = 2836$$

$$b = 274$$

$$c = 2.13$$

Reemplazando:

$$P(t) = 2836 + 274 (2.13)^t$$

t, en decadas

Año 1980 : t = 3

$$P(1980) = 2836 + 274 (2.13)^3 = 5484$$

Año 2000 : t = 5

$$P(2000) = 2836 + 274 (2.13)^5 = 14,849$$

Estimamos:

Año 1980 : 5,484 habitantes

Año 2000 :14,849 habitantes

### B.1.5 CURVA DE GOMPERTZ

Es una ecuación semejante a la precedente y se expre

sa de la forma siguiente:

$$Y = a b^{c^X}$$

Tomando logaritmos:

$$\text{Log. } Y = \text{Log. } a + c^X \text{ Log. } b$$

$$Y = A + c^X B$$

La ecuación representa un proceso de evolución acumulativa, hasta un valor máximo siendo el valor "a" el techo de la curva. Por lo demás los cálculos para determinar los valores de las constantes se determina de igual forma que para la curva de Fovvell, teniendo el cuidado de usar los logaritmos de la población para los cálculos respectivos.

Para poder aplicar esta ecuación se debe cumplir que:  $d_2$  sea menor a  $d_1$ .

$$\text{Siendo, } d_1 = s_2 - s_1 \quad \text{y} \quad d_2 = s_3 - s_2$$

Tenemos:

$$d_1 = 310$$

$$d_2 = 660$$

$$d_2 > d_1$$

Este tipo de curva no es aplicable a estos datos censales.

#### B.1.6 CURVA LOGISTICA O DE VERHULST

Expresa la curva teórica llamada logística, basada en el factor que "los obstáculos que se oponen al crecimiento de la población aumentan en proporción directa al crecimiento acumulado de dicha población".

Esto significa que después de un crecimiento rápido, se presenta un período de crecimiento lento, para finalmente tender asintóticamente hacia el límite.

La expresión que rige el desarrollo de la curva es como sigue:

$$P_t = \frac{K}{1 + b e^{at}} = K (1 + b e^{at})^{-1}$$

"K", "a" y "b" son constantes

$P_t$  = Población en la fecha "t"

K; representa el intervalo de variación de  $P_t$ , su valor valor máximo ó población de saturación.

"a" y "b" determinan la forma de la curva.

La solución del problema se simplifica tomando tres puntos equidistantes en el tiempo.

Las ecuaciones para poder determinar las tres constantes son como sigue:

$$K = \frac{2 P_1 P_2 P_3 - P_2^2 (P_1 + P_3)}{P_1 P_3 - P_2^2}$$

$$b = \frac{K - P_1}{P_1} \quad a = \frac{1}{n} \ln \frac{P_1 (K - P_2)}{P_2 (K - P_1)}$$

n = intervalo entre  $T_1, T_2, T_3$ .

Para aplicarse el método debe verificarse:

$P_1 P_3$  debe ser menor que  $P_2^2$

$$P_1 P_3 \text{ debe ser menor que } P_2 \left( \frac{P_1 + P_3}{2} \right)$$

DATOS:

<u>Año</u>	<u>Población</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Tiempo</u>
1950	3110	$P_1$	$T = 0$
1960	3420	$P_2$	$T = 1$
1970	4080	$P_3$	$T = 2$

Reemplazando:

$$(P_1) (P_3) < P_2^2 \Rightarrow (3110)(4080) < (3420)^2$$

$$12'688,800 < 11'696,400$$

$$(P_1) (P_3) < (P_2) \left( \frac{P_1 + P_3}{2} \right)$$

$$(3110) (4080) < (3420) \left( \frac{3110 + 4080}{2} \right)$$

$$12'688,800 < 12'294,900$$

Nuestros datos censales no cumplen las condiciones pedidas en este método.

### B.1.7 METODO DE NEWTON GREGORY

Está derivado de la ecuación del binomio de Newton y se expresa como sigue:

$$P_x = P_0 + c_1^x \Delta + c_2^x \Delta^2 + \dots + c_k^x \Delta^k$$

Siendo:

$P_x$  = Población en el año "N"

$P_0$  = Población en el año "0"

$\Delta$  = diferencias finitas entre los diversos efectivos de "P"

$c^x$  = número de combinaciones de los diferentes términos

$$c_1^x = x \quad c_2^x = \frac{x(x-1)}{2!} \quad c_3^x = \frac{x(x-1)(x-2)}{3!}$$

DATOS:

Año	Decada x	P (x)	$\Delta_0^1$	$\Delta_0^2$	$\Delta_0^3$
1940	0	3037	73	237	113
1950	1	3110	310	350	
1960	2	3420	660		
1970	3	4080			

Tomamos las diferencias finitas encerradas en el círculo.

Reemplazando:

$$P = 3037 + 73x + 237 \left( \frac{x(x-1)}{2!} \right) + 113 \left( \frac{x(x-1)(x-2)}{3!} \right)$$

$$\text{Año 1980 : } x = 4 \Rightarrow P(1980) = 5203$$

$$\text{Año 2000 : } x = 6 \Rightarrow P(2000) = 9290$$

Estimamos:

Año 1980 : 5203 habitantes

Año 2000 : 9290 habitantes

## B.2 MÉTODOS GRÁFICOS

### B.2.1 EXTRAPOLACION GRÁFICA



Es el método más sencillo y por eso el más común , consiste simplemente en la prolongación gráfica de la tendencia de la curva y de acuerdo a la característica de la curva resultan tres variantes:

- Crecimiento amortiguado
- Proyección aritmética
- Proyección geométrica

Consideramos el último para Calca.

#### B.2.2 METODO COMPARATIVO

Consiste en suponer que el crecimiento de la población del área en estudio seguirá la misma tendencia que anteriormente se observó en áreas de características similares.

Tomaremos las poblaciones de Sicuani y Urcos.

#### C. MODELOS DE CORRELACION

Muchos factores afectan el crecimiento de la población.

Así la tasa de crecimiento para la mayoría de las ciudades está relacionada con la tasa de crecimiento de la provincia, departamento o país al que pertenece. Lo estableceremos entre el distrito de Calca, con la provincia del mismo nombre y el departamento del Cuzco.

#### D. MODELOS DE POBLACION

En estos se trata de combinar los dos factores de

movimiento natural:

- Natalidad
- Mortalidad

Para Calca no tenemos estadísticas confiables sobre estos factores, por lo expuesto anteriormente.

De los métodos estudiados los de :

- B.1.1 Interpolación y Extrapolación lineal
- B.1.2 Crecimiento Geométrico
- B.2.1 Crecimiento Geométrico - Gráfico

No son aplicables a esta población los que marginaremos del posterior análisis, por el poco incremento poblacional que ofrecen, pues pronostican en dos décadas menos de 1000 habitantes, que es el de un bajo porcentaje de crecimiento, que sería el de una población en decadencia, que no es el caso de Calca.

Los resultados obtenidos tabulados son:

M E T O D O	HABITANTES - AÑO	
	1980	2000
A. Procedimientos Generales	5108	8037
B.1.3 Crecimiento Parabólico	5036	7845
B.1.4 Curva Exponencial Modificada Folwell	5484	14849
B.1.7 Método de Newton Gregory	5203	9290
B.2.2 Método Comparativo-Gráfico	5100	8000
C. Método de Correlación-Gráfico	5200	7800

Estos datos son de las posibles proyecciones del crecimiento poblacional para Calca, estimados para los años 1980 y 2000.

De estas cifras adoptaremos las más conservadoras, para no aumentar nuestro porcentaje de ociosidad inicial con estimaciones.

Adoptamos:

AÑO	POBLACION
1980	5036
2000	7800

El cálculo poblacional del Ministerio de Vivienda y Construcción es:

AÑO	POBLACION
1980	5000
2000	8000

Las cifras son relativamente cercanas entre si y aceptables por tratarse de estimaciones de población futura, de una población suceptible de efectuarle planeamiento de su crecimiento y no planificación.

Por la naturaleza del presente trabajo de optimización técnico-económica de la red de abastecimiento adoptaremos las cifras del crecimiento poblacional previstos en el proyecto del Ministerio de Vivienda y Construcción.

Se ha efectuado el análisis del cálculo poblacional, previsto por el Ministerio de Vivienda y Construcción

con el objeto de estudiar la población abastecida en los años 1980 y 2000.

POBLACION ABASTECIDA:

Para estimarla tenemos la información proporcionada por la administración de agua potable de Calca, que señala en 546 las conexiones domiciliarias registradas al 30 de Abril de 1980, cuadro visto en la sección 1.1.2.

Así mismo el siguiente cuadro que nos da el Censo Nacional del 04 de Junio de 1972.

ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DISTRITO DE CALCA

	TOTAL VIVIENDAS	TOTAL OCUPANTES	POR RED DE TUBERIA		POZO PRIVADO.	POR	ACARREO		DENTRO	NO ESPECIFICADO	
			DENTRO DE LA VIVIENDA	FUERA DE LA VIVIENDA PERO DENTRO DEL EDIFICIO		PILON DE USO PUBLICO	POZO	RIO CANAL			CAÑON QUE
VIVIENDA/OCUPANTES	954	-----	363	145	3	131	-	114	-	152	46
PANTES	---	4251	1798	514	19	548	==	515	-	650	207

Nos referiremos como a "Población Abastecida" a la que es abastecida:

- Dentro de la vivienda
- Fuera de la vivienda, pero dentro del edificio
- Por acarreo del pilon de uso público.

Del Cuadro anterior deducimos:

Población abastecida .....	67.3%
Población no abastecida .....	32.7%

Si establecemos como referencia la relación entre conexiones domiciliarias y población abastecida tenemos:

$$\frac{\text{Población abastecida}}{\text{Conexiones Domiciliarias}} = \frac{2860}{508} = 5.63$$

La expansión de la población se realiza a lo largo de la carretera al Valle de Lares y en la de Cuzco a Urubamba.

Esperándose una mayor densificación de las zonas - actualmente habitadas. Por ello adoptamos del 5.63 para el año 1972, 6.00 para 1980 en la relación anterior.

Tenemos:

$$\frac{\text{Población abastecida}}{\text{Conexiones Domiciliarias}} = \frac{X}{546} = 6.00$$

$$\text{Población abastecida} = (546 \text{ Conex. Domic.}) \times (6.00 \frac{\text{Pobl. Ab.}}{\text{Con. Dom.}})$$

$$\text{Población abastecida} = 3276 \text{ habitantes}$$

Si para 1980 se tiene 5,000 habitantes y 3,276 -  
son la población abastecida, entonces:

Población abastecida .....	65.50%
Población no abastecida .....	34.50%

Resumiendo:

AÑO	POBLACION ABASTECIDA %	POBLACION NO ABASTECIDA %	CONEXIONES DOMICILIARIAS	POBLACION
1972	67.3	32.7	508	4251
1980	65.5	34.5	546	5000

Estimación de la población abastecida en el año -  
2000:

Estudiaremos dos tendencias, la primera se basa en que se sigue adoptando la política actual de abastecimiento de agua potable con sus implicancias económico-técnicas, que darían como consecuencia que se siga manteniendo el porcentaje de población abastecida de 65.5%.

La segunda tendencia sería resultado de la nueva política anunciada para esta década de llegar a un abastecimiento del 100% de la población.

Es difícil lograr esta meta por razones económico-técnicas, entre las que distinguimos el constante crecimiento poblacional en cotas elevadas, baja densificación, familias que por sus escasos recursos económicos no solicitan conexión domiciliaria, etc.

Por lo que adoptaremos como población abastecida - un 85%.

Resumiendo:

AÑO	TOTAL POBLACION	POBLACION ABASTECIDA		POBLACION NO ABASTECIDA	
		PORCENTAJE	HABITANTES	PORCENTAJE	HABITANTES
1972	4251	67.3	2861	32.7	1390
1980	5000	65.5	3275	34.5	1725
2000*	8000	65.5	5240	34.5	2760
2000**	3000	85.0	6800	15.0	1200

Nota: \* Primera tendencia

\*\* Segunda tendencia

Como se puede apreciar este análisis es de vital importancia, por las implicancias económicas que juega en un proyecto, por ser la población un dato básico de cálculo y diseño que puede sobrecargar innecesariamente los altos porcentajes de ociosidad iniciales de las obras.

Por lo que se debe estudiar la población abastecida presente y sus proyecciones futuras en los proyectos de abastecimiento de agua.

#### 1.1.4 DOTACION, VARIACIONES DE CONSUMO Y DENSIDAD POBLACIONAL

Para evaluar en igualdad de condiciones los diseños de las redes de agua adoptaremos los valores tomados en el proyecto del Ministerio de Vivienda:

Dotación : 150 lts/hab./día

Extraído del Reglamento Nacional de Construcciones anexos 3 que en el artículo 3-II-II-3 dice: La dotación diaria por habitante se ajustará a los siguientes valores:

POBLACION	C L I M A	
	F R I O	TEMPLADO Y CALIDO
De 2,000 Hab. a 10,000 Hab.	120 l/h.d.	150 l/h/d

Los coeficientes de variaciones de consumo del referido proyecto son:

$K_1$  : 130% del consumo promedio

$K_2$  : 250% del consumo promedio

$K_3$  : 325% del consumo promedio

$K_{min}$  : 40% del consumo promedio

Siendo:

$K_1$  : Coeficiente para calcular el máximo anual de la demanda diaria.

$K_2$  : Coeficiente para calcular el máximo anual de la demanda horaria.

$K_3$  : Coeficiente de refuerzo para el diseño de sistemas de agua potable.

Los coeficientes son altos por tratarse de una población relativamente pequeña, pues sabemos que cuanto mas



pequeña la población, mas grandes serán las variaciones de los máximos y mínimos consumos.

Referencialmente tenemos:

COEFICIENTES DE VARIACION DE CONSUMO EMPLEADOS EN:							ESTUDIOS EFECTUADOS: INSTITUCION/LOCALIDAD	
PROYECTO DE CALCA	REGLAT. NAC. CONSTRUCCION	P.N.A.P.R.	ESAL	M.V.C.	P.N.A.P.R.			
				TARMA	-CATAPALLA -UCHUPAMPA -CONOCHAY ALTO			
K <sub>1</sub> 130	120 a 150	120	130	132	104			
K <sub>2</sub> 250	180 a 250	300 a 400	260	181	179			
K <sub>3</sub> 325	216 a 375	360 a 480	338	260	374			

Abreviaturas:

P.N.A.P.R. = Plan Nacional de Agua Potable Rural (Brinda servicio a poblaciones de hasta 2,000 habitantes).

M.V.C. = Ministerio de Vivienda y Construcción.

ESAL = Empresa de Saneamiento de Lima

Caudales de diseño del referido proyecto:

En su cálculo estos han sido redondeados a la cifra entera superior

Los adoptamos por las razones expuestas:

C A U D A L E S	1ra. ETAPA	2da. ETAPA
Q - Promedio	9 L.P.S.	14 L.P.S.
Q - Máximo diario	12 L.P.S.	18 L.P.S.
Q - Máximo horario	23 L.P.S.	35 L.P.S.
Q - Mínimo horario	4 L.P.S.	6 L.P.S.

Densidad:

Para delimitar los contornos del área bruta de la ciudad, nos basamos en la expansión urbana prevista por el Ministerio en su proyecto, tomando en cuenta que casi la totalidad de las viviendas poseen huerta, teniendo una longitud total en sentido transversal a las vías públicas de aproximadamente 30 a 40 metros.

Tenemos en consecuencia un área y densidad bruta - aproximadamente de:

<u>Año</u>	<u>Area : Hectáreas</u>	<u>Densidad : Hab/Ha</u>
1980	67.40	74 + 12 hab.
2000	87.60	91 + 28 hab.

Se adopta una sola densidad para toda el área debido a la poca población que no muestra variaciones apreciables de densidad para los efectos del cálculo del proyecto y menos para el objetivo del presente trabajo.

Se le añade a las densidades el número de habitantes adecuados para registrar las poblaciones de diseño.

## 1.2.0 COMENTARIOS

Dentro del rango que los cálculos y criterios nos señala como población futura, es necesario estudiar cual adoptar, analizando el porcentaje de ociosidad de los primeros años del sistema de abastecimiento, componente por componente con el costo e intereses de esta inversión ver sus costo de las obras en programación por etapas con sus respectivos intereses bancarios, siendo una de las medidas para bajar el alto porcentaje de ociosidad inicial, el adoptar la población mas pesimista de las estimadas para el futuro.

Además los cálculos deben de efectuarse con las cifras de población abastecida y por abastecer, y no de la totalidad de los habitantes, pues no se podrá abastecer a todos por varias razones entre las que tenemos:

- Pobladores de zonas altas, cuya cota no permitirá que se les abastezca.
- Zonas relativamente alejadas, poco pobladas (baja densidad poblacional).
- Familias que por motivos económicos no soliciten conexión domiciliaria.

Es necesario destacar que la población de Calca no cuenta con medidores de agua, pudiendo registrarse desperdicios no cuantificados.

Es de mencionar que en las redes diseñadas por el

Ministerio de Vivienda y Construcción, Plan de Agua Potable Rural y las experiencias de Brasil, con el diseño que se plantea mas adelante, han dado buenos resultados en el abastecimiento del agua potable.

----

## CAPITULO II

### PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCION TECNICO ECONOMICA DEL DISEÑO DE LA RED

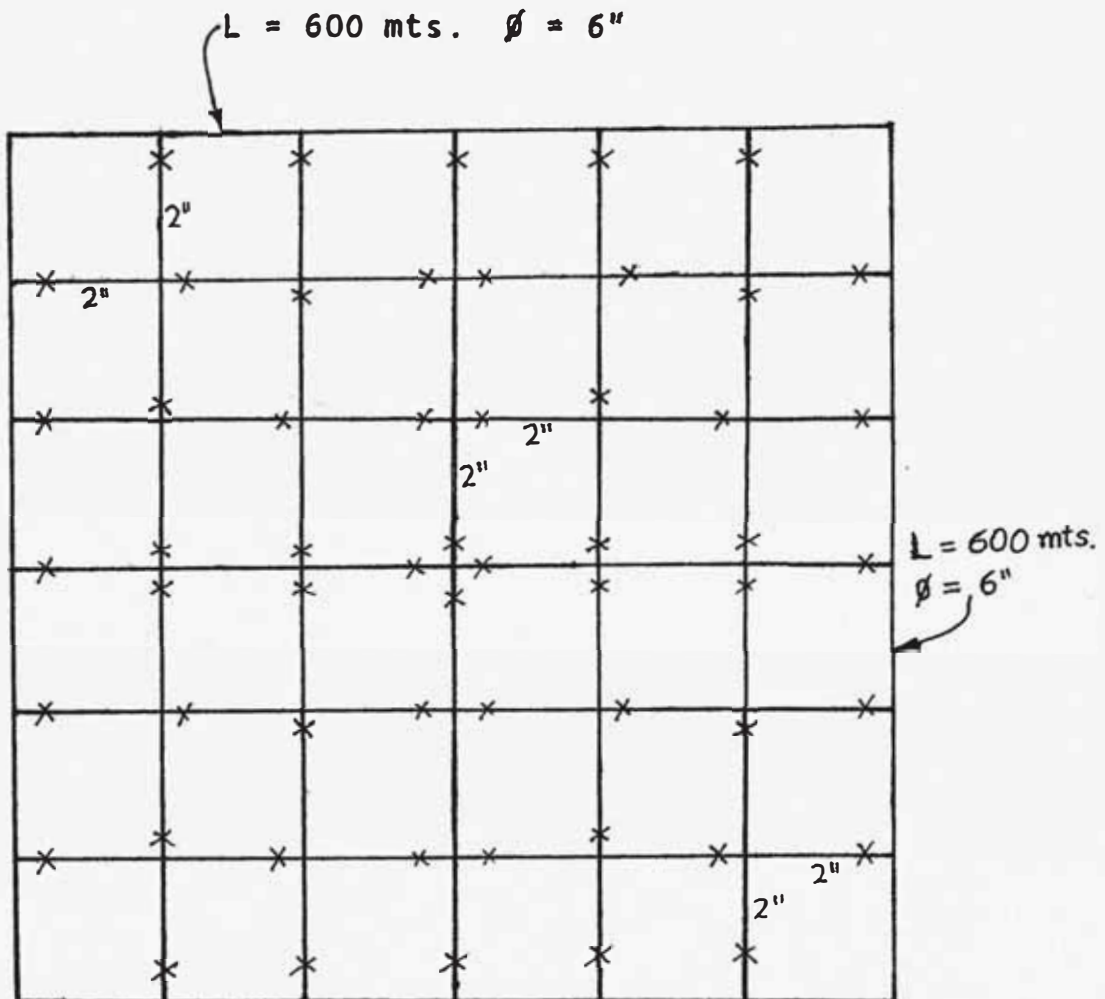
#### 2.1 PRESENTACION Y ELECCION DE ALTERNATIVAS

En las zonas metropolitanas de los países desarrollados, se cuenta con sistemas de abastecimiento de agua potable aptos para satisfacer las exigencias propias de estas comunidades, lo que demanda un costo y tecnología incompatible con las necesidades reales de nuestra Patria y en general de los países en desarrollo.

Por ello debemos buscar soluciones propias a nuestros problemas, con tecnología acorde a nuestra realidad socio-económica, enmarcándose en este principio trataremos de optimizar el costo de la obra, sin sacrificar el componente técnico del servicio requerido.

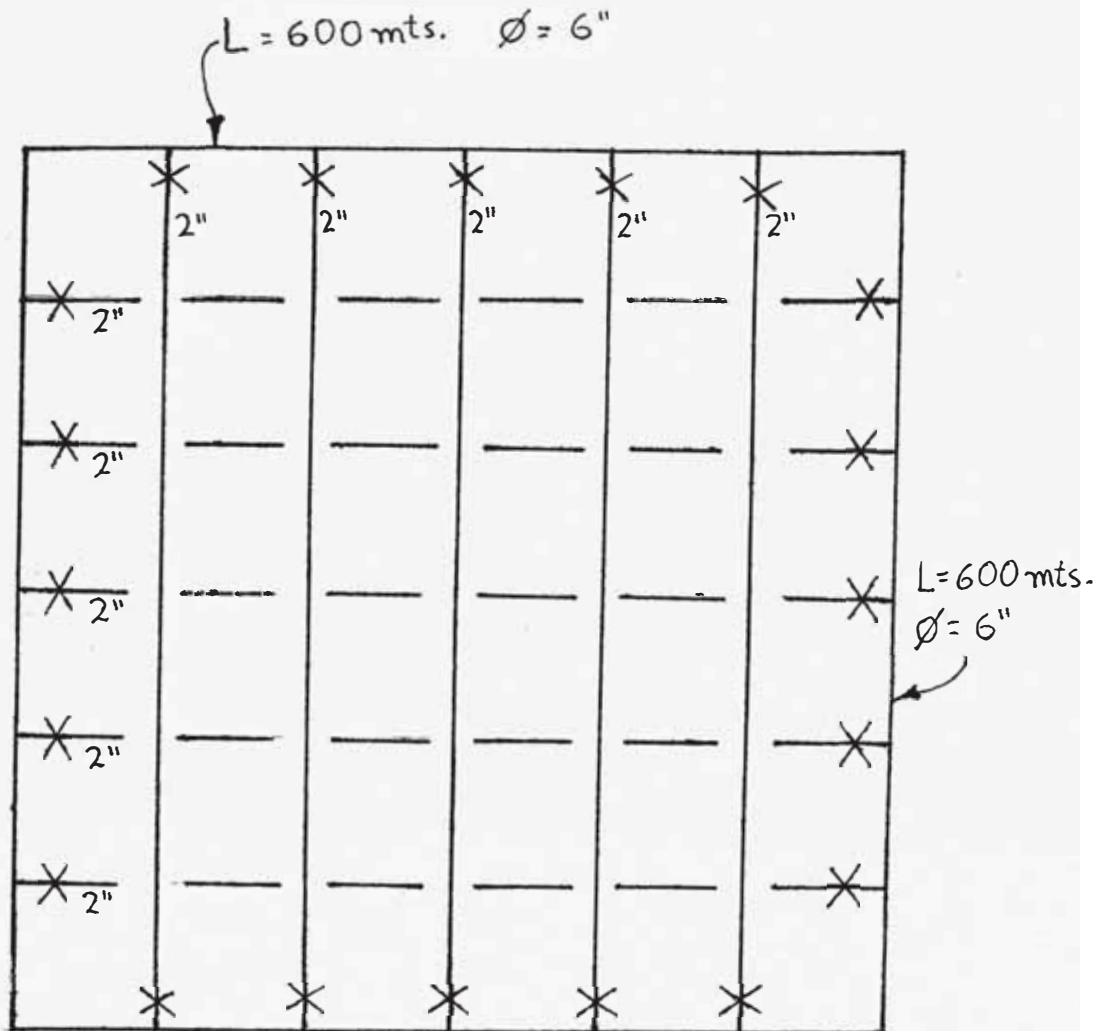
Es posible hacer varios tipos de diseños para abaratar el costo de la obra, estudiando las condiciones de cada caso, a continuación se presentan tres (3) sistemas de este tipo:

TUBERIAS SECUNDARIAS INTERCONECTADAS



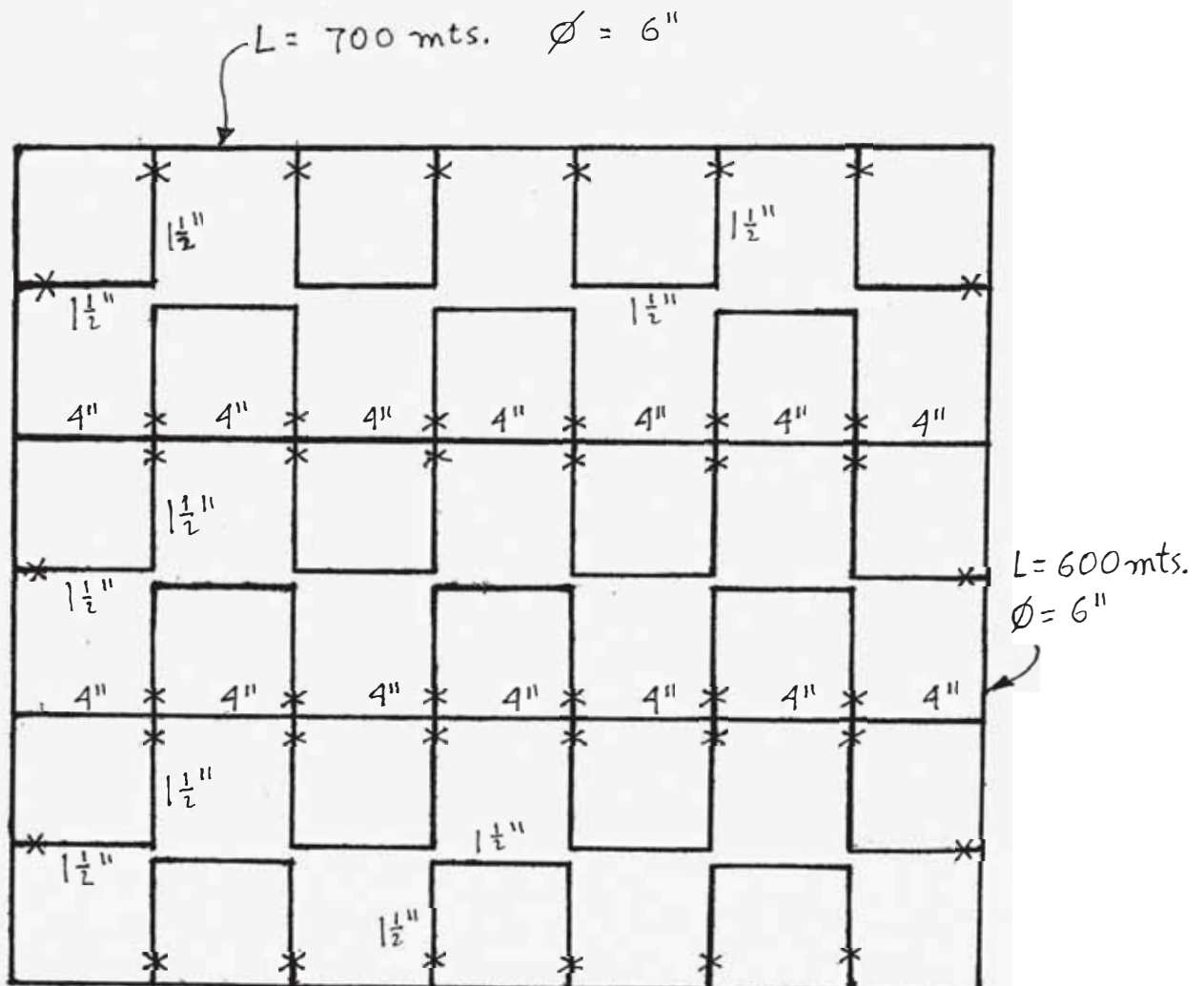
Consiste en instalar en el interior de las tuberías matrices otras de diámetro pequeño interconectadas. ( $\phi = 2''$ ) no se tiene noticias del resultado de la aplicación de este sistema.

SISTEMA BIPLANAR O DE TUBERIAS SECUNDARIAS  
CRUZADAS



En el interior del anillo de la tubería matriz se instala tuberías de pequeño diámetro (o secundarias) cruzadas por encima o abajo entre ellas, ahorrándose accesorios (válvulas, codos, tees, reducciones). Este sistema ha sido probado con éxito en México donde se le llama "Sistema Biplanar" y en el Brasil "Tubería Secundarias Cruzadas".

SISTEMA DE CIRCUITOS PEQUEÑOS



Consiste en instalar tuberías en forma alternativa cubriendo el 50% de las calles, realizándose el abastecimiento mediante circuitos de tuberías de diámetro pequeño ( $1\frac{1}{2}''$ ). Este sistema ha dado buenos resultados al aplicarlo en el Brasil.

El primer y segundo sistema propuesto es aplicable a asentamientos humanos efectuados con orden y planeamiento, que no es el caso de nuestras pequeñas poblaciones de distritos del interior del país.



El tercer sistema es versátil a las constantes modificaciones y ampliaciones de la infraestructura urbana, por lo que lo seleccionamos para este trabajo.

Los dos primeros sistemas se pueden aplicar a pueblos jóvenes o cooperativas de vivienda.

## 2.2 ESTUDIO TECNICO DE LA SOLUCION

Se estudiará y evaluará las redes de agua potable, del proyecto planteado mas adelante y del efectuado por el Ministerio de Vivienda y Construcción para el Distrito de Calca, enmarcándose éste dentro de las poblaciones de 2,000 a 10,000 habitantes, dejando abierta la posibilidad de adaptar el presente estudio a futuros proyectos con un número de habitantes, dentro de este rango.

Es necesario destacar que estos estudios se efectúan para condiciones hidráulicas específicas requeridas.

### PROYECTO EXISTENTE DEL MINISTERIO DE VIVIENDA Y CONSTRUCCION:

Lo estudiaremos en dos componentes:

- A. Comprende la red existente y la primera etapa proyectada al que denominaremos "Primera Etapa".
- B. Segunda etapa proyectada.

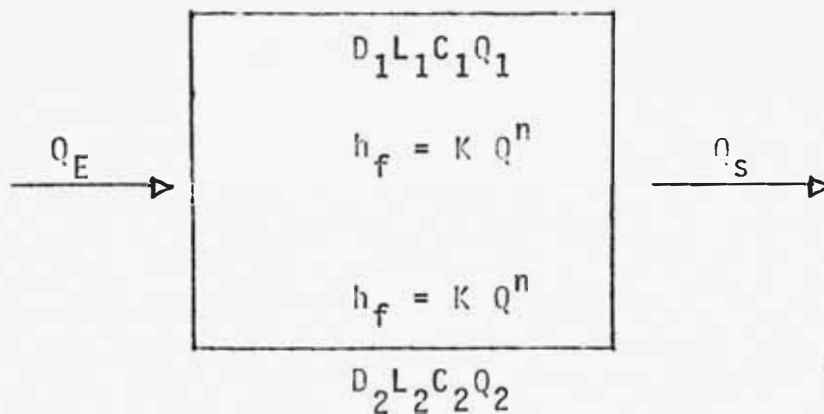
El diseño empleado consiste en tuberías principales que se calculan generalmente por el método de Hardy Croos formando un circuito cerrado, instalándose en su in

terior tuberías de menor diámetro llamadas secundarias, - las que no se calculan.

Al no poder conseguir los cálculos que se efectuaron en este proyecto, he seleccionado las mallas de tuberías principales con el siguiente criterio:

- A través de las tuberías de mayor diámetro en función - de su área de influencia en el abastecimiento y adoptando el mayor número de mallas.

En la primera etapa se tiene cinco (5) mallas y siete (7) en la segunda, el cálculo lo efectuaremos en base al método de Hardy Croos:



Por fórmula de Hazen y Williams.

1.  $V = 0.355 C D^{0.63} J^{0.54}$

2. Por otro lado:

$$Q = A V = \frac{\pi D^2}{4} V$$

De 1 y 2 tenemos:

$$Q = 0.2785 C D^{2.63} S^{0.54}$$

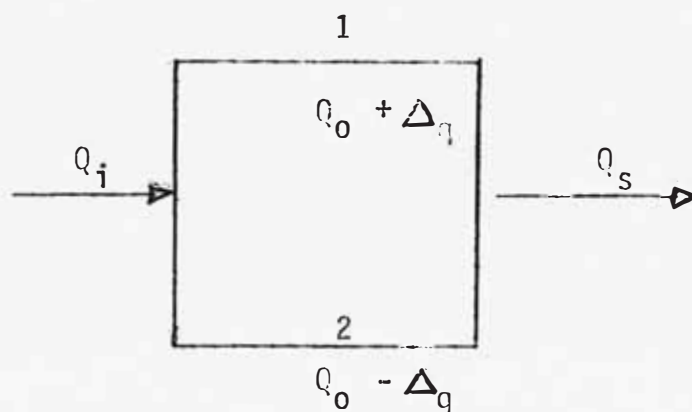
$$J = \frac{Q^{1.85}}{(0.2785 C)^{1.85} D^{4.87}}$$

$$h_f = J L = \frac{1}{(0.2785 C)^{1.85}} \cdot \frac{L}{D^{4.87}} Q^{1.85}$$

$$h_f = K Q^{1.85}$$

4.  $h_f = K Q^n$

$$h_f = J L Q^{1.85}$$



1.  $h_f = K Q^{1.85}$

Esto proviene de la fórmula de Hazen y Williams, y la aplicamos al circuito en el que la suma de pérdidas de carga del lado 1 y 2 es igual a cero y tenemos:

2.  $Q = Q_0 + \Delta_q$

3.  $\sum h_f = \sum K (Q_0 + \Delta_q)^n = 0$

Desarrollando  $\sum K (Q_0 + \Delta_q)^n$

$$\sum K (Q_0 + \Delta_q)^n = \sum K (Q_0^n + nQ_0^{n-1} \Delta_q + \dots (n-1)Q_0^{n-2} \Delta_q^2 + \dots)$$

Los últimos valores no interesan por ser muy pequeños.

Luego tenemos:

$$5. \sum h_f = \sum K \left[ Q_0^n + n Q_0^{n-1} \Delta q + (n-1) Q_0^{n-2} \Delta q^2 + \dots \right]$$

Reemplazando  $n = 1.85$  en 5 tenemos:

$$6. \sum h_f = \sum K \left[ Q_0^{1.85} + 1.85 Q_0^{0.85} \Delta q + \dots \right] = 0$$

Despejando:

$$\Delta q = \frac{-\sum K Q_0^{1.85}}{1.85 \sum K Q_0^{0.85}}$$

$$7. Q^{0.85} = \frac{Q^{1.85}}{Q^{1.00}}$$

$$q = \frac{-\sum K Q^{1.85}}{1.85 \sum K \frac{Q^{1.85}}{Q}}$$

Así mismo la fórmula de Hazen y Williams la desarrollamos en la forma:

$$h_f = \frac{1.72 \times 10^6 L}{C^{1.85} D^{4.366}} \quad Q^{1.85} = K Q^{1.85}$$

CALCULO DE LA RED OPTIMIZADA:

La estudiaremos en los mismos componentes que el anterior, es decir la "Primera Etapa" cubrirá lo abastecido por la "Primera Etapa" del proyecto del Ministerio de Vivienda y Construcción y de igual manera el área abastecida por la "Segunda Etapa" en ambos proyectos será la misma .

En la primera etapa se tiene tres (3) mallas principales (tuberías de mayor diámetro) y en la segunda siete (7), las que se calculan por el método de Hardy Croos.

En el interior de estas mallas principales se forman pequeños circuitos cerrados. Los cálculos hidráulicos se efectúan para las necesidades del servicio, sin considerar dotación contra incendio, como lo especifica el Reglamento Nacional de Construcciones en el Artículo 3-II-II-5-A y por que la población no cuenta con bomberos ni con ningún tipo de mangueras especiales para combatir un incendio.

La unión de los pequeños circuitos con las mallas principales, es con abrazadera y llave corporation, por motivos económicos.

Es de destacar que diseños similares de circuitos de pequeño diámetro, en el Brasil ha dado buenos resultados (Ing. J. M. de Azevedo Netto).

En el diseño de las mallas principales se aprovecha la diferencia de cota del terreno, ubicándose en las zonas de cota mas baja tuberías de diámetro menor, que las de la zonas más alta.

Así mismo en las zonas de expansión previsible de la ciudad, se ha proyectado con tuberías de 4" de diámetro y en la que se observa se tendrá una menor densificación, tuberías de 2" de diámetro.

## 2.3 CALCULO Y EVALUACION ECONOMICA DE LA ALTERNATIVA -- ELEGIDA

Dividiremos las mallas diseñadas en tramos, en los puntos finales de estos asignaremos ficticiamente el consumo registrado en su área de influencia, procediéndose a -- ubicarlos con el siguiente criterio:

- Donde se produce una pérdida de carga significativa.
- Cambio de diámetro en las tuberías.
- Cambio de pendiente.
- Cambio de dirección.
- Entradas y salidas de caudal a la malla.

Para el diseño de las áreas de influencia se ha tenido presente:

- Que el abastecimiento se da por gravedad.
- La distancia de los puntos abastecidos a las mallas.
- Adoptando formas geométricas

Se efectuó el cálculo de las áreas de influencia -- de cada tramo (en hectáreas) el que al multiplicarlo por la densidad bruta poblacional, nos dió el número de habitantes abastecidos por cada tramo (redondeándose este calculo para obtener la población de diseño), el que lo transformamos en porcentaje poblacional.

El cálculo con porcentaje poblacional ofrece las -- siguientes ventajas:

- Usando como constante la población podemos tener como

variable la dotación, obteniéndose diferentes caudales según los requerimientos del estudio que se quiera efectuar del comportamiento de la red a diversas condiciones de funcionamiento.

- El efecto de la variación de densidad poblacional de una zona de la ciudad sobre las redes, es fácilmente evaluable.
- De utilizarse computadora en los cálculos, se disminuye el tiempo de su uso.

Se trazó el sentido del flujo hidráulico en las tuberías, sumándose los porcentajes poblacionales siguiendo estos flujos los que multiplicados por la población y gasto máximo horario, nos dió los caudales de tránsito por las diferentes tuberías, cuyos diámetros fueron adoptados teniendo presente el desnivel del terreno, capacidad hidráulica requerida actual y futura.

Se estudio el comportamiento de la red con el caudal máximo horario por ser el caso más desfavorable.

A continuación se presenta los cálculos hidráulicos del análisis técnico de funcionamiento del proyecto del Ministerio de Vivienda y Construcción en su primera y segunda etapa, con el correspondiente estudio de su costo.

Así mismo, luego de este se presenta en igual forma el diseño propuesto como alternativa de optimización -

del proyecto del Ministerio.

Los costos considerados son al 31 de Mayo de 1961, el precio del transporte esta incluido en los precios unitarios. El tiempo considerado de ejecución de obra es de 4 y 2 meses, para la primera y segunda etapa respectivamente.



PROYECTO DEL MINISTERIO DE VIVIENDA Y  
CONSTRUCCION

PRIMERA ETAPA

CALCULOS TECNICOS Y ECONOMICOS

## EVALUACION TECNICA DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES

En el proyecto del Ministerio de Vivienda y Construcción y en el presentado como alternativa de optimización, podemos apreciar que el abastecimiento a excepción de las cercanías del reservorio es bueno. Se aprecia que en el "Proyecto de Optimización" la presión de servicio es ligeramente menor, lo cual es beneficioso al disminuir posibles pérdidas de agua en la red.

Las redes secundarias del proyecto del Ministerio de Vivienda y Construcción es de 4 y 3 pulgadas de diámetro, los que tienen alta capacidad de transporte hidráulico y ofrecen poca pérdida de carga, para el servicio domiciliario que son requeridas.

Los circuitos secundarios del proyecto de optimización ofrecen una capacidad hidráulica muy por encima del que son requeridos, dando una pérdida de carga fácilmente superada por la presión existente en la red.

A continuación se presenta el cálculo de estos circuitos en las condiciones mas adversas.

### CALCULO DE LOS CIRCUITOS SECUNDARIOS:

Número de conexiones por 100 m. de tubería	:	20
Número de personas por conexión	:	
Número de personas por metro de tubería	:	1
Dotación (lts./día)	:	150

Coeficiente de variación del consumo : 2.5  
 Consumo máximo por metro de tubería :

$$\frac{150 \times 2.5}{24 \times 60 \times 60} = 0.0043 \text{ lts./seg./m.}$$

Cálculo de un circuito secundario (forma orejada) de 250m. de longitud, alimentado por dos conexiones.

Longitud alimentada por cada conexión:

$$L = \frac{250}{2} = 125 \text{ m.}$$

$$Q = 125 \text{ m.} \times 0.0043 \text{ lts/seg/m} = 0.54 \text{ lts/seg.}$$

$$Q = 0.54 \text{ lts/seg.}$$

$$Q = 1 \frac{1}{2}''$$

$$h_f = 0.0075 \text{ m/m}$$

La pérdida de carga total en tuberías que distribuyen homogéneamente el caudal es:

$$h_f = f \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = K Q^2 L$$

Si el gasto inicial es " $Q_0$ ", el gasto que sale a lo largo del conducto es " $q \text{ m}^3/\text{seg}$ " por metro lineal de tubería, - supondremos que este gasto  $q$  es constante, entonces el - gasto en cualquier sección es:  $Q = Q_0 - qL$  .... (1)

Siendo " $L$ " la distancia desde el punto inicial.

La pérdida de carga en un tramo muy pequeño es:

$$dh_f = K Q^2 dL$$

Por lo tanto: 
$$h_f = \int_0^L K Q^2 dL$$

Reemplazando (1) tenemos:

$$h_f = K \int_0^L (Q_0 - q L)^2 dL$$

$$h_f = K \left[ Q_0^2 L + \frac{q^2 L^3}{3} - Q_0 q L^2 \right]$$

$$h_f = K L \left[ Q_0^2 + \frac{q^2 L^2}{3} - Q_0 q L \right]$$

$$h_f = K L \left[ Q_0^2 + \frac{(Q_0 - Q)^2}{3} - Q_0 (Q_0 - Q) \right]$$

$$h_f = \frac{K L}{3} (Q_0^2 + Q_0 Q + Q^2)$$

Si el gasto final Q es cero:

$$h_f = \frac{KL}{3} Q_0^2$$

La pérdida de carga total es la tercera parte.

$$h_f = 125 \times 0.0075 \times \frac{1}{3} = 0.31 \text{ m.}$$

La pérdida de carga total : 0.31 m.

Dividiendo la longitud de tubería entre el número de conexiones que lo alimentan, el caso más desfavorable es el ubicado entre los jirones Mariano de los Santos y San Martín con 474 metros de tubería y tres (3) conexiones.

Las condiciones hidráulicas de este son:

$$L = \frac{474 \text{ m}}{3} = 158 \text{ m.}$$

$$h_f = 158 \text{ m.} \times 0.0075 \times \frac{1}{3} = 0.40 \text{ m.}$$

Pérdida de carga total : 0.40 m.

Si especulamos la capacidad hidráulica de estas tuberías con el triple del caudal normal, la pérdida de carga que nos ofrecería es :

$$h_f = K Q^{1.85}$$

$$h_f = K (3 Q)^{1.85} = 7.63 K Q^{1.85}$$

Lo que nos dá 7.63 veces la pérdida de carga normal (0.31 - 0.40)m., la que es absorbible aún en este caso por la mayor parte del sistema.

**EVALUACION ECONOMICA:**

Los costos totales de las obras comparativamente

son:

PROYECTO DE:	PRIMERA ETAPA		SEGUNDA ETAPA	
	COSTO TOTAL	PORCENTAJE	COSTO TOTAL	PORCENTAJE
MINISTERIO DE VIVIENDA Y CONSTRUCCION	S/. 100'419,805	100%	S/. 29'401,939	100%
OPTIMIZACION	S/. 31'112,103	30.77%	S/. 23'268,222	79.14%

Como se aprecia el costo de la obra con el proyecto de optimización, es de aproximadamente el 30% del tradicionalmente empleado.

## CAPITULO III

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ambos proyectos garantizan técnicamente un buen abastecimiento de agua potable, según los requerimientos de la población.

El proyecto de optimización nos da un ahorro de aproximadamente un 20 por ciento del costo total de las obras de redes, lo que nos señala que por cada cinco (5) obras podemos tener seis (6) y si consideramos que el costo de las redes es aproximadamente un 50 a 60 por ciento del costo total de un sistema de abastecimiento, vemos la importancia de hacer los proyectos de acuerdo a nuestras necesidades reales requeridas.

Al hacerse estudios de población para un proyecto, se debe estimar y analizar la "Población abastecida futura" para no sobredimensionar las estructuras.

En el proyecto de optimización podemos ubicar frente a las tuberías matrices, los principales centros comerciales e industriales, así también en un futuro ubicar en estos los grifos contra incendio.

Utilizando la imaginación e ingenio es posible --  
crear otros diseños de sistemas de redes para cada caso --  
particular, con el objeto de tener menores costos, sin --  
desmedro del componente técnico del servicio.

- Así mismo los diseños propuestos en el presente --  
trabajo se pueden utilizar según convenga mezclados en un  
proyecto, como en base a ellos obtener otros.

En el proyecto de optimización se obtiene ahorro --  
de tuberías y accesorios (cruces, válvulas, válvulas con-  
tra incendio, abrazaderas y llaves corporation para cone  
xiones domiciliarias), lo cual incrementa el ahorro del --  
20% planteado anteriormente, pues no se ha considerado en  
el proyecto del Ministerio de Vivienda y Construcción, vál  
vulas contra incendio (los existentes son cajas con sali-  
da de tubería de 2 pulgadas de diámetro, la mayor parte --  
deterioradas o clausuradas), no se ha analizado el ahorro  
que se tiene en las conexiones domiciliarias conectadas a  
las tuberías de 1 1/2 pulgadas de diámetro.

El reservorio de la ciudad tiene capacidad de alma  
cenamiento para abastecer a la población hasta el año  
2,000, contando este con reserva para incendio, que ocupa  
el 26.5% de su volumen total.

La población en su crecimiento ha sobrepasado su cota to-  
pográfica, haciéndose necesario la construcción de otro --  
en cota superior.

Vemos el ahorro que podemos tener en la construc --

ción de los **reservorios**, al no dotarles con reserva para incendio cuando estos realmente no lo requieren.

En este caso el ahorro del 26.5% de su capacidad de almacenamiento total, tendría favorables e importantes repercusiones en el costo del reservorio.

----



**A. BIBLIOGRAFIA**

1. Copias de los cursos dictados en el Programa de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de Ingeniería.
2. Sistemas de Distribución de bajo costo  
JOSE M. DE AZEVEDO NETTO.
3. Diseño de Sistemas de Abastecimiento de agua para pequeñas comunidades  
Universidad Nacional Autónoma de México
4. Reducpo dos custos dos sistemas de abastecimiento de agua  
Octavo Congreso Brasileño
5. Seminario sobre el diseño de abastecimiento de agua  
Buenos Aires - Argentina - 1962.
6. Abastecimiento Rural  
Facultad de Ingeniería del Instituto de Ingeniería -  
Sanitaria  
Buenos Aires - Argentina