

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil



TESIS:

**“LINEAMIENTOS PARA DEFINIR BASES DE DISEÑO EN
SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA POBLACIONES
RURALES EN LA REGION DE CAJAMARCA, CASO: C.P.
ROSASPAMPA - CHALAMARCA – CHOTA – CAJAMARCA”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Bachiller. EDIN ROILER MARRUFO DÍAZ

ASESOR:

Dr. Ing. GASPAR VIRILO MENDEZ CRUZ

CAJAMARCA – PERÚ

2018

AGRADECIMIENTO

A Dios por concederme la vida y la salud; y así poder realizarme en mi vida profesional.

A mi asesor: Doctor en Ingeniería Gaspar Virilo Méndez Cruz, por su tiempo dedicado en cada etapa de mi trabajo de investigación.

Al Ingeniero Francisco Martos Salas, egresado de la Universidad Nacional de Cajamarca, por sus valiosos aportes como es la idea de investigación.

A mis padres y hermanos, por su constante motivación y educación con valores para realizarme como ingeniero civil.

A los pobladores de la localidad Rosaspampa del distrito Chalamarca – Chota-Cajamarca, que formaron parte de la muestra de estudio en este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

El esfuerzo que tuve en esta Tesis Profesional tiene un especial significado para mí, ya que estuvo motivada en la satisfacción de mis familiares cercanos y en especial de mis padres Grimaldina y Esaúl, quienes con inmensa ansiedad esperaban mi graduación como ing. civil y con los valores que ellos me inculcaron en cada etapa de mi vida.

A la población rural de la región Cajamarca y en especial de mi localidad Rosaspampa, poblaciones que serían beneficiadas mediante un proyecto de abastecimiento de agua bien diseñado; considerando que este trabajo de investigación podrá servir de aporte a las Normas de Saneamiento Rural del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento de Perú.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
CONTENIDO	IV
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. PROBLEMA	10
A. Planteamiento del problema	10
B. Formulación del problema	11
1.2. JUSTIFICACIÓN	11
1.3. ALCANCES	12
1.4. OBJETIVOS	13
A. Objetivo General	13
B. Objetivos Específicos	13
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	14
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	14
A. Antecedentes Teóricos Internacionales	14
B. Antecedentes Teóricos Nacionales	19
C. Antecedentes Teóricos Locales	24
2.2. BASES TEÓRICAS	25
A. Parámetros de diseño en sistemas de abastecimientos de agua	25
a) Periodo de diseño	25
b) Población de diseño	25
c) Dotación de agua	26
d) Variaciones de consumo	29
e) Caudales de diseño	34
B. Reservorio	36
a) Volumen de regulación	36
b) Pérdidas físicas de agua.	45
c) Producción de agua potable.	45
C. Red de distribución	46
a) Determinación de caudales en la red de distribución	46
b) Velocidades de flujo en la red de distribución	48
c) Funcionamiento hidráulico	50
d) Análisis hidráulico por Computadora	51
2.3. PALABRAS CLAVE	53
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	56
3.1. MATERIALES	56
A. Instrumentos	56
B. Ubicación	57
C. Servicios públicos	59
D. Población de estudio	60
E. Muestra	61
3.2. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO	62
A. Tipo	62
B. Nivel	62
C. Diseño	62
D. Método	62

E.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	63
F.	Formatos para el estudio de demanda de agua para consumo doméstico	64
G.	Control de calidad de datos de campo	65
H.	Tratamiento y procesamiento de datos	65
a)	Del Estudio de demanda de agua	66
b)	De Los Aforos de caudal por el método volumétrico	69
c)	Del Criterio para el cálculo de caudales en la red de distribución.	70
d)	De la Estimación del coeficiente de variación horaria de consumo K_2	73
e)	Del Coeficiente del volumen de regulación del reservorio	75
f)	Del Análisis Hidráulico de la red y la verificación del rango de velocidades	81
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		88
4.1.	DEL ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA	88
4.2.	DE LOS AFOROS DE CAUDAL POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO	98
4.3.	DEL CRITERIO PARA DETERMINAR LOS CAUDALES EN LA RED	99
4.4.	DE LA ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN HORARIA K_2	103
4.5.	DEL COEFICIENTE DEL VOLUMEN DE REGULACIÓN DEL RESERVORIO	106
4.6.	DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED Y LA VERIFICACIÓN DEL RANGO DE VELOCIDADES	115
4.7.	CONSOLIDADO DE RESULTADOS COMPARADOS CON LOS ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS.	120
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		123
5.1.	CONCLUSIONES	123
5.2.	RECOMENDACIONES	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		128
ANEXOS		130
	ANEXO 1: POBLACIÓN ESTIMADA POR LA DIRECCIÓN DE ESTADISTA E INFORMÁTICA DE LA DIRECCIÓN DE SALUD - DISA CHOTA.	130
	ANEXO 2: REPORTE DE SENAMHI - PRECIPITACIÓN PLUVIAL DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO (MES NOVIEMBRE DEL 2016).	139
	ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO	141
	ANEXO 4: ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO (FORMATO 1 POR VIVIENDA, FORMATO 2 POR VIVIENDA Y FORMATOS 3 POR VIVIENDAS ACUMULADAS)	150
	ANEXO 5: RED DE DISTRIBUCIÓN CON RESULTADOS DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO EN PERIODO EXTENDIDO-EPS CON SOFTWARE "BENTLEY WATERCAD V8i".	180

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1:	DOTACIÓN MEDIA DIARIA (L/HAB-D) PARA POBLACIONES MENORES A 10,000 HABITANTES, EN BOLIVIA	17
TABLA 2:	VALORES DEL COEFICIENTE K_2 , SEGÚN GUÍA DE BOLIVIA ^[15]	17
TABLA 3:	CONSUMOS DOMÉSTICOS PER CÁPITA, EN MÉXICO	18
TABLA 4:	COEFICIENTES DE REGULACIÓN PARA POBLACIONES PEQUEÑAS, EN MÉXICO	18
TABLA 5:	CIFRAS DE VARIACIONES DE CONSUMO MÁXIMO DIARIO, EN VENEZUELA	19
TABLA 6:	VALORES DEL FACTOR K_1 , PARA DIVERSOS PAÍSES	19
TABLA 7:	VALORES DEL FACTOR K_2 , INVESTIGACIONES REALIZADAS EN VENEZUELA	19
TABLA 8:	VALORES DE K_1 APLICABLES A ZONAS RURALES, POR EL MINSA	20
TABLA 9:	VALORES DE K_2 APLICABLES A ZONAS RURALES, POR EL MINSA	21
TABLA 10:	DOTACIÓN DE AGUA SEGÚN OPCIÓN TECNOLÓGICA Y REGIÓN (L/HAB.D), POR EL MVCS 2018 ^[16] Y LA GUÍA DEL MEF 2011 ^[14]	24
TABLA 11:	DOTACIÓN DE AGUA PARA CENTROS EDUCATIVOS, SEGÚN EL MVCS	24
TABLA 12:	PERIODOS DE DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA SANITARIA	25

TABLA 13: PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DEL MÉTODO ANALÍTICO CON VOLÚMENES (BOMBEO DE 24 H), POR LA CNA	42
TABLA 14: RESUMEN DE POBLACIÓN C.P. ROSASPAMPA, DISTRITO CHALAMARCA - CHOTA	61
TABLA 15: RESUMEN DE PARÁMETROS DE DISEÑO, SEGÚN ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA BASADO EN MICRO MEDICIONES DE CONSUMO DOMÉSTICO	92
TABLA 16: AFORO EN APARATOS SANITARIOS POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO, EN LA HORA DE MÁXIMO CONSUMO PARA EL PRESENTE ESTUDIO	98
TABLA 17: CÁLCULO ALTERNATIVO DEL CONSUMO POR PERSONA (DOTACIÓN), A PARTIR DEL CAUDAL UNITARIO POR APARATO SANITARIO Y DEL TIPO DE USO DEL AGUA	99
TABLA 18: CÁLCULO DE CAUDALES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN, POR EL CRITERIO PROPUESTO “MÉTODO RACIONAL ADAPTADO A LA POBLACIÓN RURAL ROSASPAMPA”	100
TABLA 19: COMPARACIÓN DE CAUDALES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN, DETERMINADOS POR TRES MÉTODOS	103
TABLA 20: ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN HORARIA DE CONSUMO K ₂ , PARA LA POBLACIÓN RURAL ROSASPAMPA-CHALAMARCA-CHOTA DE LA REGIÓN CAJAMARCA	104
TABLA 21: LEY DE DEMANDA HORARIA RESPECTO A VARIACIONES HORARIAS RESUMIDAS EN UN SOLO DÍA DE CONSUMO, PARA TODO EL PERIODO DE ESTUDIO.	106
TABLA 22: CÁLCULO DEL VOLUMEN DE REGULACIÓN POR EL MÉTODO ANALÍTICO EN VOLÚMENES PARA ABASTECIMIENTO CONTINUO	108
TABLA 23: CÁLCULO DEL VOLUMEN DE REGULACIÓN POR EL MÉTODO ANALÍTICO EN PORCENTAJES PARA ABASTECIMIENTO CONTINUO	109
TABLA 24: CÁLCULO DEL VOLUMEN DE REGULACIÓN POR EL MÉTODO ANALÍTICO EN PORCENTAJES PARA ABASTECIMIENTO POR BOMBEO	111
TABLA 25: VARIACIONES HORARIAS ACUMULADAS Y RESUMIDAS EN UN SOLO DÍA DE CONSUMO, PARA TODO EL PERIODO DE ESTUDIO	112
TABLA 26: CONSOLIDADO DE RESULTADOS COMPARADO CON LOS ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS	121

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO PROBABLE Y MÁXIMO INSTANTÁNEO MEDIDO PARA USUARIOS RESIDENCIALES TIPO VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ.	15
FIGURA 2: RESUMEN GRÁFICO DE RESULTADOS, APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES INSTANTÁNEOS EN EDIFICIOS DE BOGOTÁ Y EDIFICIOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE BOGOTÁ.	16
FIGURA 3: VARIACIONES HORARIAS ESTIMADAS DE CONSUMO PARA POBLACIONES RURALES DE LA COSTA NORTE DEL PERÚ (POBLACIONES MENORES DE 1000 HABITANTES)	20
FIGURA 4: CURVA TÍPICA DE VARIACIÓN HORARIAS DE CONSUMO, SEGÚN AROCHA, 1977	31
FIGURA 5: VARIACIÓN HORARIA DE CONSUMO DE AGUA EN CAMPIÑAS (OCTUBRE DE 1945), SEGÚN AZEVEDO-NETTO	32
FIGURA 6: VARIACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA DURANTE EL DÍA, SEGÚN EL CIR, 1988 (CEPIS, OPS/OMS, TRAD.)	33
FIGURA 7: CURVA TÍPICA DE MASA O CONSUMO ACUMULADO	41
FIGURA 8: CURVA DE MASA DE CONSUMOS ACUMULADOS, POR AGÜERO, 1997	44

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1: IMAGEN SATELITAL DE LA RED DE ABASTECIMIENTO AGUA EN LA ZONA DE ESTUDIO	85
IMAGEN 2: CAPTURA DE CAPTURA DE RED DE TUBERÍAS INGRESADA AL SOFTWARE “BENTLEY WATERCAD V8i”	85
IMAGEN 3: CAPTURA DE OPCIONES DE CÁLCULO INGRESADOS AL SOFTWARE “BENTLEY WATERCAD V8i”	86
IMAGEN 4: CAPTURA DE PATRONES DE DEMANDA INGRESADOS AL SOFTWARE “B. WATERCAD V8i”	87
IMAGEN 5: CAPTURA DE DEMANDA EN HIDRANTES INGRESADA AL SOFTWARE “B. WATERCAD V8i”	87
IMAGEN 6: REPORTE DEL INVENTARIO DE TUBERÍA DE PRESIÓN	116
IMAGEN 7: REPORTE DE CÁMARAS ROMPE PRESIÓN EN HORA DE MÁX. DEMANDA (T: 15 HORAS)	116
IMAGEN 8: REPORTE DE CÁMARAS ROMPE PRESIÓN EN HORA DE NO DEMANDA (T: 22 H)	116
IMAGEN 9: REPORTE DE TUBERÍAS EN HORA DE MÁXIMA DEMANDA (T: 15 HORAS)	117

IMAGEN 10: REPORTE DE TUBERÍAS EN HORA DE NO DEMANDA (T: 22 HORAS)	118
IMAGEN 11: REPORTE DE NUDOS EN HORA DE MÁXIMA DEMANDA (T: 15 HORAS)	119
IMAGEN 12: REPORTE DE NUDOS EN HORA DE NO DEMANDA (T: 22 HORAS)	119
IMAGEN 13: REPORTE DE HIDRANTES EN HORA DE MÁXIMA DEMANDA (T: 15 HORAS)	119
IMAGEN 14: REPORTE DE HIDRANTES EN HORA DE NO DEMANDA (T: 22 HORAS)	120

ÍNDICE DE GÁFICOS

GRÁFICO 1: DEMANDA DIARIA DE AGUA, DURANTE TODO EL PERIODO DE ESTUDIO	94
GRÁFICO 2: VARIACIÓN DE LA DEMANDA HORARIA DE AGUA EN LITROS (PATRÓN DE CONSUMO), DURANTE EL DÍA DE MÁXIMO CONSUMO.	95
GRÁFICO 3: VARIACIÓN DE LA DEMANDA HORARIA EN PORCENTAJE DE LA DEMANDA DIARIA (PATRÓN DE CONSUMO), DURANTE EL DÍA DE MÁXIMO CONSUMO	96
GRÁFICO 4: VARIACIÓN DE LA DEMANDA HORARIA DE AGUA EN LITROS (PATRÓN DE CONSUMO), DURANTE TODO EL PERIODO DE ESTUDIO ACUMULADO COMO UN SOLO DÍA	96
GRÁFICO 5: VARIACIÓN DE LA DEMANDA HORARIA EN PORCENTAJE DE LA DEMANDA DIARIA (PATRÓN DE CONSUMO), PARA TODO EL PERIODO DE ESTUDIO ACUMULADO COMO UN SOLO DÍA	97
GRÁFICO 6: CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO PROBABLE O MÁXIMO HORARIO, POR EL “MÉTODO RACIONAL ADAPTADO A LA POBLACIÓN RURAL ROSASPAMPA”	101
GRÁFICO 7: ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN HORARIA K_2 , EN LA POBLACIÓN RURAL ROSASPAMPA DE LA REGIÓN CAJAMARCA.	105
GRÁFICO 8: CÁLCULO DEL VOLUMEN DE REGULACIÓN POR EL MÉTODO GRÁFICO MEDIANTE LA CURVA DE MASA O DIAGRAMA DE RIPPL	113

ÍNDICE DE FOTOFRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1: MEDIDOR DE AGUA DOMÉSTICO MODELO SC100, A UTILIZAR EN EL ESTUDIO.....	56
FOTOGRAFÍA 2: INSTALACIÓN DEL MEDIDOR DE AGUA DOMÉSTICO EN LA VIVIENDA N° 01	141
FOTOGRAFÍA 3: INSTALACIÓN DE MEDIDOR DE AGUA N° 01, CON PRESENCIA DEL TESISTA.....	141
FOTOGRAFÍA 4: MEDIDOR DE AGUA DOMÉSTICO N° 01 YA INSTALADO.....	142
FOTOGRAFÍA 5: MEDIDOR DE AGUA DOMÉSTICO N° 03 INSTALADO POR EL TESISTA.....	142
FOTOGRAFÍA 6: MEDIDOR DE AGUA DOMESTICO N° 04 INSTALADO POR EL TESISTA	143
FOTOGRAFÍA 7: LECTURA DE CONSUMO EN EL MEDIDOR N° 01 Y EN UNA HORA DIURNA.....	143
FOTOGRAFÍA 8: LECTURA DE CONSUMO EN EL MEDIDOR N° 01 Y EN UNA HORA NOCTURNA.....	144
FOTOGRAFÍA 9: VISTA GENERAL DEL MEDIDOR DE AGUA DOMÉSTICO N° 02	144
FOTOGRAFÍA 10: LECTURA DE CONSUMO EN EL MEDIDOR N° 02 Y EN UNA HORA DIURNA	145
FOTOGRAFÍA 11: LECTURA DE CONSUMO EN EL MEDIDOR N° 04 Y EN UNA HORA DIURNA	145
FOTOGRAFÍA 12: LECTURA DE CONSUMO EN EL MEDIDOR N° 03 Y EN UNA HORA DIURNA	146
FOTOGRAFÍA 13: VISTA INTERIOR DE SS-HH CON ARRASTRE HIDRÁULICO EN VIVIENDA N° 01.....	146
FOTOGRAFÍA 14: AFORO DE LAVADERO MULTIUSOS-PILETA POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO	147
FOTOGRAFÍA 15: AFORO DE DUCHA POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO	147
FOTOGRAFÍA 16: AFORO DE LAVATORIO DE MANOS POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO.....	148
FOTOGRAFÍA 17: VISTA GENERAL DE LA VIVIENDA N° 01, DONDE SE UBICA SS-HH Y PILETA	148
FOTOGRAFÍA 18: ACTIVIDADES DOMÉSTICAS DE USO DEL AGUA EN LA VIVIENDA N° 02.....	149
FOTOGRAFÍA 19: USO EXCEPCIONAL DEL AGUA PARA CONSUMO ANIMAL, EN EL PERIODO DE MÁXIMO ESTIAJE	149

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por **objetivo general**, establecer lineamientos que definen bases de diseño tales como los parámetros básicos en sistemas de agua potable para poblaciones rurales en la región Cajamarca: caso C.P. Rosaspampa–Chalamarca–Chota. Su diseño es por objetivos, con muestra no probabilística equivalente a 35 viviendas. Se basa en el estudio de demanda de agua para consumo doméstico en poblaciones rurales, **cuya técnica** consiste en la micro medición de las variaciones horarias de consumo con medidores domésticos de agua. **Los resultados** para toda la muestra como un solo sistema de agua con uso doméstico y saneamiento con arrastre hidráulico fueron: Dotación promedio 75.45 l/per-día, para efectos de diseño se lo plantea como magnitud constante dentro del rango 70 a 80 l/per-día; el coeficiente de variación diaria (K_1) decrece ligeramente conforme aumenta el número de viviendas, pudiéndose definir como magnitud constante en el rango 1.20 a 1.60; mientras que el coeficiente de variación horaria (K_2) decrece considerablemente conforme aumenta el número de viviendas, en efecto se debe considerar como magnitud variable de 6.00 a 3.00 para 1 a 35 viviendas respectivamente con densidad promedio de 4 a 5 per/viv; el Criterio propuesto “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” ajusta el cálculo del caudal máximo probable o máximo horario, como una magnitud variable de 0.10 a 0.485 l/s para 1 a 35 viviendas respectivamente; el coeficiente del volumen de regulación es una magnitud constante dentro del rango 30% a 40% del caudal medio diario como mínimo o del caudal máximo diario si este fuese menor o igual al caudal de la fuente, para abastecimiento continuo; del análisis hidráulico de la red de distribución se verifica velocidades variables en el rango de 0.30 a 1.50 m/s.

Palabras clave: Sistema de agua potable, población rural, parámetros de diseño.

ABSTRACT

The **main objective** of this research work was to establish guidelines that define design bases such as the basic parameters in drinking water systems for rural populations in the Cajamarca region: case C.P. Rosaspampa-Chalamarca-Chota. Its design is by objectives, with a non-probabilistic sample equivalent to 35 homes. It is based on the study of water demand for domestic consumption in rural populations, **whose technique** consists in the micro-measurement of hourly variations of consumption with domestic water meters. **The results** for the whole sample as a single water system with domestic use and sanitation with hydraulic drag were: Average endowment 75.45 l/per-day, for design purposes it is proposed as a constant quantity within the range 70 to 80 l/per-day; the coefficient of daily variation (K_1) decreases slightly as the number of dwellings increases, being able to define it as a constant magnitude in the range 1.20 to 1.60; while the coefficient of hourly variation (K_2) decreases considerably as the number of dwellings increases, in fact it should be considered as a variable magnitude of 6.00 to 3.00 for 1 to 35 dwellings respectively with an average density of 4 to 5 per/viv; the proposed Criterion "Rational Method adapted to the rural population Rosaspampa" adjusts the calculation of the probable maximum or maximum hourly flow, as a variable magnitude of 0.10 to 0.485 l/s for 1 to 35 dwellings respectively; the coefficient of the volume of regulation is a constant quantity within the range 30% to 40% of the average daily flow as a minimum or of the maximum daily flow if this is less than or equal to the flow of the source, for continuous supply; the hydraulic analysis of the distribution network it is verified speeds are variable in the range of 0.30 to 1.50 m/s.

Key words: Drinking water system, rural population, design parameters.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Considerando que un estudio de demanda de agua para consumo doméstico en poblaciones rurales andinas como nuestra región Cajamarca, permite definir las bases de diseño, bases que para dichas poblaciones tienen un valor intrínseco y no son más que los parámetros básicos de diseño, que para el presente trabajo de investigación son objeto de estudio los siguientes: la dotación y los coeficientes de variación diaria y horaria de consumo, parámetros que a su vez determinan otros más como: el caudal máximo horario y caudal máximo diario; adicionalmente se puede obtener el coeficiente para el volumen de regulación del reservorio, un criterio para el cálculo de caudales en la red de distribución y mediante el análisis hidráulico de la red comprobar el rango de velocidades en la red de distribución.

Así pues la importancia del presente trabajo de investigación radica en contar con los lineamientos o directrices descritos en el párrafo precedente, los cuales definen las bases de diseño y estas no son más que parámetros básicos en sistemas de agua potable para poblaciones rurales andinas, facilitando realizar adecuados estudios técnicos de proyectos de inversión, con el principio de ser lo más realista posible, en beneficio de las poblaciones rurales de nuestra región cuyas condiciones más influyentes como el clima y las costumbres de la población, sean similares a las del área en estudio; y que a la vez dichos parámetros sirvan de aporte a las Normas de Saneamiento Rural del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento del Perú.

1.1. PROBLEMA

A. Planteamiento del problema

- De la revisión hecha a las fuentes bibliográficas, **en ninguna se encuentra bases de diseño en sistemas de agua potable y saneamiento con arrastre hidráulico (incluye inodoro, ducha, lavatorio y pileta) para poblaciones rurales andinas como es nuestra región Cajamarca, bases que para dichas poblaciones tienen un valor intrínseco y no son más que los parámetros básicos de diseño, y que en este caso son objeto de estudio los siguientes: la dotación, los coeficientes de variación de consumo, en consecuencia los caudales de diseño, el coeficiente del volumen de regulación y el rango de velocidades.**

- En ese sentido **el problema es que, no existen parámetros básicos de diseño en sistemas de agua potable para poblaciones rurales de nuestra región Cajamarca, los mismos que se justifiquen en estudios de demanda de agua para consumo doméstico**; a la vez que se plantean las siguientes preguntas:
 - ¿Existen estudios que expongan lineamientos de cálculo para definir parámetros básicos de diseño como, dotación, variaciones de consumo, caudales de diseño, velocidades y volumen de regulación en sistemas de agua potable para poblaciones rurales andinas; los mismos que sustenten la formulación exitosa de proyectos de inversión y a la vez sirvan de aporte a las Normas de Saneamiento Rural del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento del Perú?
 - ¿Cómo influyen las variaciones horarias de consumo en, el cálculo de caudales de la red de distribución, el caudal máximo diario, el caudal máximo horario y el volumen de regulación en sistemas de agua potable para poblaciones rurales de nuestra región?
 - ¿En función a las variaciones horarias de consumo en sistemas de agua potable para poblaciones rurales de nuestra región, se conoce algún método existente que al ser empleado se ajuste al cálculo de caudales de diseño en la red de distribución?

B. Formulación del problema

La formulación del problema se hace mediante la siguiente pregunta:

¿Qué lineamientos definen las bases de diseño tales como los parámetros básicos, dotación, coeficientes de variación de consumo y en consecuencia los caudales de diseño, coeficiente del volumen de regulación y el rango de velocidades; en sistemas de agua potable para poblaciones rurales de nuestra región Cajamarca?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación no deja de ser interesante, **puesto que es indispensable contar con lineamientos que definen bases de diseño en sistemas de agua potable para poblaciones rurales de nuestra región Cajamarca, bases que para dichas poblaciones tienen un valor**

intrínseco y no son más que los parámetros básicos de diseño, los mismos que se justifiquen en estudios de demanda de agua para consumo doméstico, y que para el presente trabajo de investigación son objeto de estudio los siguientes: la dotación y variaciones de consumo, parámetros que a su vez determinan otros más como: el caudal máximo horario y caudal máximo diario; adicionalmente se puede obtener el coeficiente para el volumen de regulación del reservorio, un criterio para el cálculo de caudales en la red de distribución y mediante el análisis hidráulico de la red comprobar el rango de velocidades en la red de distribución.

Por otro lado dichos parámetros facilitan realizar adecuados estudios técnicos de proyectos de inversión, con el principio de ser lo más realista posible, **en beneficio de las poblaciones rurales de nuestra región, cuyas condiciones más influyentes como el clima y las costumbres de la población, sean similares a las de estudio**; y que a la vez dichos parámetros sirvan de aporte a las Normas de Saneamiento Rural del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento de Perú.

Consecuentemente se precisa que, **en ocasiones resulta desacertado formular y ejecutar proyectos de abastecimiento de agua potable y saneamiento para poblaciones rurales andinas, dentro del marco de la Normatividad Peruana**, teniendo en cuenta que, dicha Normatividad no se basa en estudios de demanda de agua para definir los parámetros básicos de diseño en una población rural. **En efecto, ha sido muy importante llevar a cabo el presente trabajo de investigación, donde se determinaron parámetros básicos de diseño reales para una población rural de nuestra región Cajamarca, caso C.P. Rosaspampa-Chalamarca-Chota.**

1.3. ALCANCES

El presente trabajo de investigación **fija los lineamientos que definen parámetros básicos de diseño en sistemas de agua potable para poblaciones rurales de la región Cajamarca**, en el caso específico para el Centro Poblado Rosaspampa, del distrito de Chalamarca, provincia de Chota, departamento Cajamarca. **No obstante puede aplicarse a otras poblaciones rurales, cuyas condiciones más influyentes como el clima y las costumbres de la población, sean similares a las del área en estudio.**

El universo del trabajo de investigación comprende a la población del C.P. Rosaspampa, correspondiente a 118 familias (como se verifica en capítulo III – Materiales y Métodos).

La muestra es no probabilística recomendada el 30% de la población, resultando 35 viviendas.

1.4. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Establecer lineamientos que definan las bases de diseño tales como los parámetros básicos en sistemas de agua potable para poblaciones rurales en la región Cajamarca: caso C.P. Rosaspampa-Chalamarca-Chota-Cajamarca.

B. Objetivos Específicos

- Determinar la dotación y los coeficientes de variación diaria y horaria de consumo, los mismos que determinan a los caudales de diseño, mediante un estudio de demanda de agua con medidores domésticos.
- Aforar caudales por el método volumétrico en cada aparato sanitario, para que al relacionar estos caudales unitarios con el tipo de uso de agua se determine alternativamente la dotación promedio.
- Plantear un Criterio que ajuste el cálculo de caudales instantáneos máximos probables o máximos horarios en la red de distribución, en función al aforo de caudales unitarios y en concordancia con los caudales reales ya determinados por el estudio de demanda de agua; y contrastarlo con un método habitualmente utilizado como es La Simultaneidad.
- Estimar el coeficiente de variación horaria, en función a los caudales máximo probables determinados por el Criterio antes propuesto y en función a los caudales ya determinados por el estudio de demanda agua para consumo doméstico.
- Calcular el coeficiente del volumen de regulación del reservorio, en función a las variaciones horarias de consumo, por el método analítico, método gráfico y en concordancia con los coeficientes empíricos.
- Analizar el funcionamiento hidráulico de la red de distribución de agua, a través del software “Bentley WaterCAD V8i”, verificando el rango de velocidades en la red y comparar resultados con las fuentes bibliográficas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

A. Antecedentes Teóricos Internacionales

- (Garzón, 2014: 198-199) en su trabajo final de maestría “Evaluación de patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá” ^[11], en lo relacionado al presente trabajo de investigación se extrae lo siguiente:
 - De los 9 métodos estudiados, en función a los resultados obtenidos y presentados en el capítulo correspondiente, se concluye que únicamente el Método Racional y el Método de Hunter Unal presentan resultados cercanos a los medidos en campo, y por lo cual son adecuados para ser empleados en la determinación del caudal máximo probable para el diseño de redes internas de edificaciones de uso residencial tipo viviendas unifamiliares. Para el caso de viviendas multifamiliares, conforme los resultados obtenidos por otros autores, se ha encontrado que efectivamente estos dos métodos arrojan excelentes resultados en comparación con los anteriores, sin embargo, es menester ampliar las investigaciones y mediciones de campo para corroborar dichos resultados y afirmaciones.
 - A continuación, se presenta la gráfica respectiva en la cual se han representado los resultados de caudales máximos instantáneos promedios obtenidos por los 9 métodos empleados para las 4 zonas de estudio, e igualmente se ha incluido los caudales promedios medidos en cada zona.

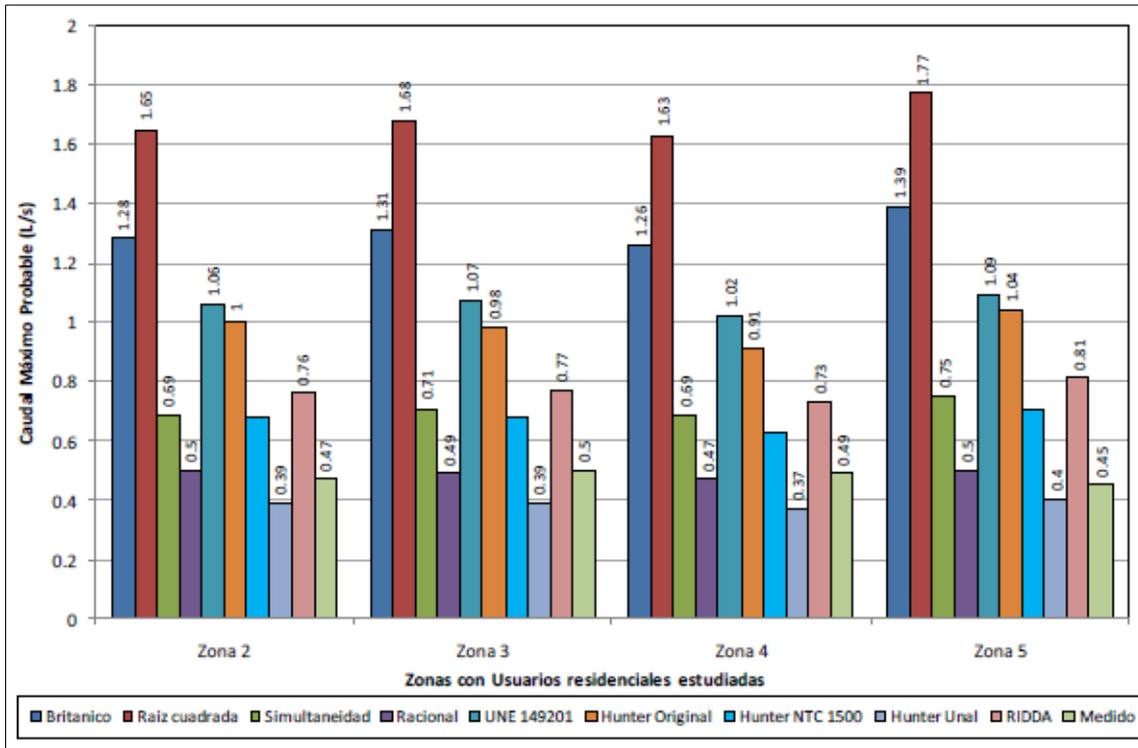


Figura 1: Comparación de resultados de la aplicación de los Métodos para el cálculo del caudal Máximo Probable y Máximo Instantáneo medido para usuarios residenciales tipo viviendas unifamiliares de la ciudad de Bogotá.

– (Castro, Garzón & Ortiz, 2006: 10 - 12) en el Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua “Aplicación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones”^[4], cuya aplicación a considerado los edificios como son; de conjuntos residenciales, Takay II, Santa María del Campo (SMDC); de oficinas, Lago 76; todos ellos ubicados en la ciudad de Bogotá y los edificios de Biblioteca Central, Odontología, Ciencias Humanas, Aulas de Ingeniería y Medicina de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. La conclusión a ser tomada en cuenta es:

- Si se observa cuidadosamente los valores de la Figura siguiente se encuentra que, para cada una de las edificaciones por los diferentes métodos, el caudal de diseño varía ampliamente y en la mayoría de los casos el caudal calculado excede significativamente el caudal medido (excepto para Takay II por Método Racional, donde es inferior). Los métodos que presentan un mayor acercamiento al caudal aforado son en su orden el método Racional, Hunter Modificado y Hunter Original.

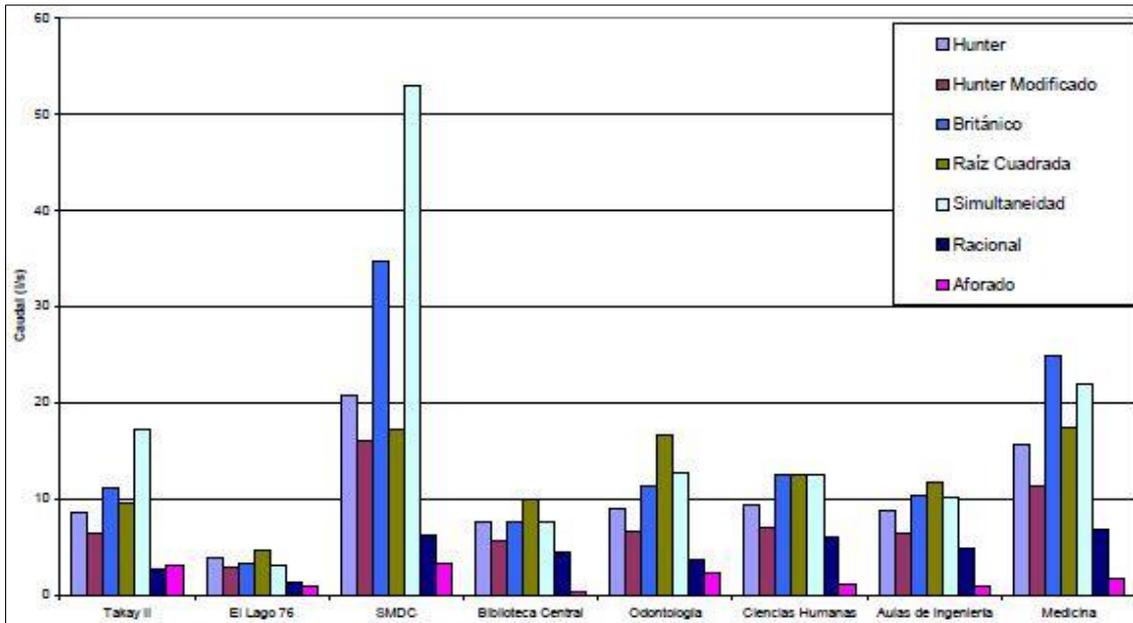


Figura 2: Resumen gráfico de resultados, aplicación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificios de Bogotá y edificios de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

- (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS/OPS, 2005) en la “Guía para el diseño de redes de distribución en sistemas rurales de abastecimiento de agua” [6]. Muestra unos y otros parámetros entre ellos algunos son aceptables para las poblaciones rurales como las velocidades de 0.30 a 2.00 m/s; además ofrece metodología de cálculo de caudales en la red de distribución como el método de “La Simultaneidad” en sistemas de agua potable solo con conexiones domiciliarias a grifo de pileta.
- (Ministerio de Servicios y Obras Públicas de Bolivia, 2005: 22, 24) en la “Guía técnica de diseño de proyectos de agua potable para poblaciones menores a 10,000 habitantes” [15]. Muestra unos y otros parámetros, entre ellos algunos son aceptables para las poblaciones rurales como las velocidades de 0.30 a 2.00 m/s; además ofrece metodología de cálculo de caudales en la red de distribución como el método de “La Simultaneidad” en sistemas de agua potable solo con conexiones domiciliarias a grifo de pileta. Entre otros resultados más importantes se tiene:
 - Para el caso de sistemas nuevos de agua potable, con conexiones domiciliarias la dotación media diaria puede ser obtenida sobre la base

de la población y la zona geográfica dada, según lo especificado en la tabla siguiente.

Tabla 1: Dotación media diaria (l/hab-d) para poblaciones menores a 10,000 habitantes, en Bolivia

Zona	Población (habitantes)			
	Hasta 500	De 501 a 2 000	De 2 001 a 5 000	De 5 001 a 10 000
Del altiplano	30 – 50	30 – 70	50 - 80	80 - 100
De los Valles	50 – 70	50 - 90	70 - 100	100 - 140
De los Llanos	70 – 90	70 - 110	90 - 120	120 - 180
Notas:	(1)			(2)

(1) Justificar a través de un estudio social

(2) Justificar a través de un estudio socio-económico

Fuente: Norma NB-689, Diseño de Sistemas de Agua Potable.

- Las dotaciones indicadas son referenciales y deben ajustarse sobre la **base de estudios que identifiquen la demanda de agua**, capacidad de la fuente de abastecimiento y las condiciones socioeconómicas de la población, podrán utilizarse datos de poblaciones con características similares.
- Para sistemas nuevos de agua potable, en zonas rurales, donde la disponibilidad de agua no llegue a cubrir la demanda de la población (consumo restringido) se debe calcular la dotación en base al caudal mínimo de la fuente y la población futura.
- En caso de establecer una dotación menor a 30 l/hab-d, se deben considerar solamente piletas públicas.
- En cuanto al coeficiente de variación diaria $K_1 = 1,20$ a $1,50$ (véase NB-689 y Arocha).
- En cuanto al coeficiente de variación horaria K_2 , varía según el número de habitantes, de $1,5$ a $2,2$, tal como se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 2: Valores del coeficiente K_2 , según guía de Bolivia^[15]

Población (habitantes)	Coeficiente k_2
Hasta 2 000	2,20 – 2,00
De 2 001 a 10 000	2,00 – 1,80

Fuente: NB-689, véase Azevedo Netto

- (Comisión Nacional del Agua-CNA, 2007: 9, 18 y 23) a través del manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento “Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario” ^[7], indica resultados de estudios de demanda de agua, los cuales

a pesar de corresponder a zona urbana, sirven de referencia al presente trabajo de investigación, ya que las poblaciones rurales con saneamiento de arrastre hidráulico tienen consumo doméstico similar a una zona popular urbana. Además ofrece metodología de cálculo para las dotaciones y el volumen de regulación del reservorio **tomando en cuenta la variación horaria en la demanda**. Los resultados son:

- Los consumos se obtendrán con base en los histogramas, de preferencia de un año, de los registros del organismo operador. En caso de no disponer de esta información se podrán considerar los valores de consumos domésticos que se dan en la tabla siguiente, que son los resultados medios obtenidos en el "Estudio de actualización de dotaciones en el país" efectuado por la CNA a través del IMTA, en varias ciudades de la República Mexicana, durante los años de 1992 y 1993.

Tabla 3: Consumos domésticos per cápita, en México

CLIMA	CONSUMO POR CLASE SOCIOECONOMICA		
		(1/hab/día)	
	RESIDENCIAL	MEDIA	POPULAR
Cálido	400	230	185
Semicalido	300	205	130
Templado	250	195	100

NOTAS:

1) Para los casos de climas semifrío y frío se consideran los mismos valores que para el clima templado

Fuente: Comisión Nacional del Agua-CNA (2007) [7]

- Con la información de poblaciones pequeñas, el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS) realizó el cálculo del coeficiente de regulación, según la variación del gasto horario.

Tabla 4: Coeficientes de regulación para poblaciones pequeñas, en México

TIEMPO DE SUMINISTRO AL TANQUE (h)	COEFICIENTE DE REGULACION (R)
24	14.6
20 (de las 4 a las 24 horas)	7.2
16 (de las 6 a las 22 horas)	15.3

Fuente: Comisión Nacional del Agua-CNA. (2007) [7]

- (Arocha, 1977: 19 – 20) en su libro “Abastecimientos de agua” [2] apoyado en diversas investigaciones hechas, manifiesta cifras de consumo máximo diario y consumo máximo horario como se muestra:

Tabla 5: Cifras de variaciones de consumo máximo diario, en Venezuela

Localidad/Ciudad	Consumo máximo diario (K ₁)
Puerto Cabello	130% del consumo medio (1.30)
San Fernando de Apure	160% del consumo medio (1.60)
Barquisimeto	136% del consumo medio (1.36)
Valencia	126% del consumo medio (1.26)
La Guaira	138% del consumo medio (1.38)
Mérida	114% del consumo medio (1.14)
Cúa	138% del consumo medio (1.38)

Fuente: Arocha, S. (1977). *Abastecimientos de agua* [2]

Tabla 6: Valores del factor K₁, para diversos países

País	Autor	K ₁
Alemania	Hutler	1.6 – 2.0
Brasil	Azevedo-Netto	1.2 – 1.5
España	Lázaro Urra	1.5
Estados Unidos	Fair y Geyer	1.5 – 2.0
Francia	Devaube-Imbeaux	1.5
Inglaterra	Gourlex	1.2 – 1.6
Italia	Galizio	1.5 – 1.6
Venezuela	Rivas Mijares	1.2 – 1.5

Fuente: Arocha, S. (1977). *Abastecimientos de agua* [2]

Tabla 7: Valores del factor K₂, investigaciones realizadas en Venezuela

Ciudad	K ₂ (en %)
San Fernando de Apure	262
Barquisimeto	308
Valencia	203
La Guaira-Maiquetía	191
Puerto Cabello	175
Mérida	141
Cúa	200

Fuente: Arocha, S. (1977). *Abastecimientos de agua* [2]

B. Antecedentes Teóricos Nacionales

– (Ezerskii, Meléndez & Flores, 2005) en sus investigaciones sobre sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades rurales de la región Piura [9]. Manifiestan resultados a tener en cuenta y estos son:

- Para el dimensionamiento de sistemas rurales de abastecimiento de agua con distribución final a nivel de piletas, existen pocas referencias

relacionadas con las variaciones diarias de consumo. Para tal efecto, en base de investigaciones realizadas en poblaciones rurales de la costa norte del Perú, relacionadas con el análisis de variaciones horarias de consumo, se ha determinado un patrón de consumo de agua, el cual se muestra en la figura siguiente.

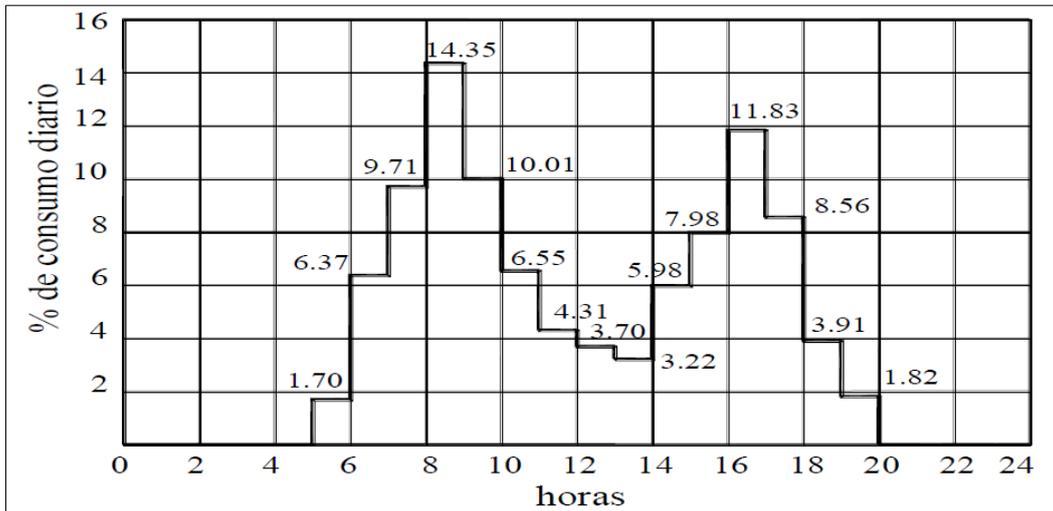


Figura 3: Variaciones horarias estimadas de consumo para poblaciones rurales de la costa norte del Perú (poblaciones menores de 1000 habitantes)

- En el patrón de consumo horario de agua estimado (presentado en la Fig.), se ve que las horas de máximo consumo se presentan en la mañana (de 8 am a 9 am) y en la tarde (de 4pm a 5 pm), con un porcentaje de consumo de 14.35% y 11.83% respectivamente. Adicionalmente, esta distribución es acorde con la propuesta del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS) para zonas rurales.
- Presenta coeficientes de variación de consumo (K_1 y K_2) que de cierto modo se ajustan a los requerimientos de una población rural andina como nuestra región Cajamarca, valores que lo referencia en las Normas del Ministerio de Salud-MINSA como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 8: Valores de K_1 aplicables a zonas rurales, por el MINSA

Normas del MINSA	K_1
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normas 1964 ▪ Normas 1982 <ul style="list-style-type: none"> - Convencionales - No convencionales ▪ Investigación MINSA 	1.20 del Q_p 1.20 a 1.50, recomendable 1.30 Asumir caudal promedio diario anual (Q_p) o caudal de rendimiento de la fuente (Q_r) 1.17 del Q_p

Fuente: Ezerskii, Meléndez & Flores. (2005). Basado en Normas del MNSA) ^[9]

Tabla 9: Valores de K_2 aplicables a zonas rurales, por el MINSA

Normas del MINSA	K_2
▪ Normas 1964	
Poblaciones:	
- < 1000 hab.	4.00
- 1000 a 2000 hab.	3.00
▪ Normas 1982	
- Convencionales	1.30 poblaciones dispersas y 1.50 poblaciones concentradas
- No convencionales	Asumir caudal promedio (Q_p)
▪ Investigación MINSA	1.70 para S.A.P. por gravedad

Fuente: Ezerskii, Meléndez & Flores. (2005). Basado en Normas del MNSA) [9]

- (Lossio, 2012: 167 - 168) en su tesis de pre grado “Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones” [12]. Ha podido analizar velocidades y presiones a lo largo de la red de distribución, a pesar de no haber realizado estudios de demanda de agua para determinar otros parámetros básicos. Concluye y recomienda lo siguiente:
- Con el uso del programa WaterCAD se ha podido analizar las velocidades y presiones a lo largo de la red de distribución, de donde se dedujo que en la mayor parte de los tramos de la red se tiene velocidades menores a 0.4 m/s.
 - Se recomienda mayores estudios y evaluaciones de sistemas de abastecimiento de agua potable en zonas rurales con el fin de obtener otros parámetros (variaciones de consumo) y particularidades técnicas, que permitan el diseño más realista de futuros sistemas en estas zonas.
- (Marinof, 2001: 37-38) en “Abastecimiento de agua por gravedad para poblaciones rurales dispersas” - experiencias con nuevas tecnologías [13]. Describe que las captaciones y líneas de conducción se diseñan para conducir el caudal máximo diario equivalente a 1,3 del caudal promedio anual (DIGESA 1994, PRES 2000). Las redes de distribución se diseñan para el caudal máximo horario. Para lo cual las normas peruanas dan valores de 1,5 (PRES 2000) y 2,6 (DIGESA 1994) el caudal promedio diario anual para centros poblados rurales de hasta 2000 habitantes (unas 400 familias). Sin embargo, en pequeñas poblaciones rurales las variaciones de la demanda horaria son muy marcadas -con un pico fuerte en la mañana- y la aplicación de las normas precedentes daría un caudal de diseño del orden

de 0,10 l/s para una población de 100 habitantes, valor que es excesivamente bajo.

Para superar esta incoherencia, las mismas normas recomiendan utilizar para la red de distribución diámetros mínimos de ¾" (DIGESA 1994) o 1" (PRES 2000), lo que daría caudales aceptables del orden de 0,5 a 1 l/s, pero no permitiría obtener diseños que garanticen una buena distribución de las presiones en la red. Durante las horas puntas de consumo, las presiones serían insuficientes en las partes altas de la red a menos que se coloquen válvulas para sectorizarla, lo que aumentaría los costos de inversión y operación y mantenimiento. Tampoco daría un diseño satisfactorio en zonas planas o de poca pendiente. Por estas razones es recomendable la utilización de tubos de diámetro de ½" y ¾" en las redes de distribución de pequeñas poblaciones.

Para el diseño de redes que sirven a **poblaciones de 100 hasta 300 habitantes es recomendable un valor de caudal máximo horario de 5 veces el caudal promedio diario anual ($K_2 = 5$).**

- En el marco de las políticas de inclusión social del Gobierno de Perú a través del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento - MVCS, incluyendo además las acciones contempladas en el Plan del Gobierno actual (2016-2021), es prioridad la atención de las poblaciones más pobres y excluidas, mediante la ejecución de proyectos de sistemas de agua potable y saneamiento con arrastre hidráulico (con unidad básica de saneamiento que incluye inodoro, ducha, lavatorio y pileta) o sin arrastre hidráulico (solo con piletas domiciliarias), ello con el objeto de mejorar su calidad de vida, disminuir la pobreza y aumentar el acceso a los servicios básicos.
- Una de las acciones iniciadas en el año 2012 por el Gobierno a través del MVCS, es creando el Programa Nacional de Saneamiento Rural - PNSR, que busca mejorar el acceso de la población del ámbito rural a servicios de agua y saneamiento de calidad y sostenibles.
- Otra de las acciones se inicia en el año 2015 por el Gobierno a través del MVCS, con la creación del Programa Nacional de Saneamiento Urbano - PNSU, que no solo busca mejorar el acceso de la población del ámbito

urbano sino también rural, al servicio de agua y saneamiento de calidad y sostenible. **Sin embargo, en ocasiones resulta desacertado formular y ejecutar proyectos de abastecimiento de agua potable y saneamiento para poblaciones rurales andinas, dentro del marco de la Normatividad Peruana**, teniendo en cuenta que, dicha Normatividad no se basa en estudios de demanda de agua para definir las bases de diseño en una población rural, como son los parámetros básicos de diseño. **En consecuencia, por lo general es incompatible aplicar esta Normatividad a las poblaciones rurales andinas**, así tenemos:

- El Ministerio de Economía y Finanzas - MEF a través de la Normatividad del antes Sistema Nacional de Inversión Pública–SNIP y ahora INVIERTE.PE, ofrece una guía para la formulación de proyectos de inversión exitosos del año 2011^[14], expresando algunos parámetros que se ajustan o corresponden a poblaciones rurales de nuestra región como la dotación; otros parámetros que no se ajustan a estas poblaciones son, el volumen de regulación, las variaciones de consumo, el caudal máximo diario y caudal máximo horario; y no indica los parámetros como velocidades y cálculo de caudales en la red de distribución.
 - El MVCS a través del Reglamento Nacional de Edificaciones con las Normas del año 2006 y sus modificatorias “OS.030, OS.050 y OS.100 ^[17]”; expresan parámetros de diseño, cuyo alcance es para poblaciones mayores a 2000 habitantes (poblaciones urbanizadas), si bien algunos parámetros como volumen de regulación, velocidades, presiones y coeficientes de variación de consumo se aplican a poblaciones menores, estos son solo referenciales.
- (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018: 31, 115) en su normatividad vigente “Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural” ^[16], expresa parámetros de diseño como la dotación, la cual de modo general se aplica según la región geográfica del país y la opción de disposición de excretas. Esta dotación es aplicable a las poblaciones rurales de nuestra región Cajamarca, aunque no manifieste su base en estudios de demanda de agua. De otro lado señala parámetros como: coeficientes de variación de consumo, caudales en la red de

distribución, volumen de regulación y velocidades, que no aplican a las poblaciones rurales de nuestra región, ya que tampoco se justifican en estudios de demanda de agua, sino solo se indica como elaboración propia; así tenemos:

- Para el caso de la dotación en las tres regiones geográficas, coincide con la Guía para saneamiento básico del Ministerio de Economía y Finanzas-MEF ^[14], cuyos resultados son los siguientes.

Tabla 10: Dotación de agua según opción tecnológica y región (l/hab.d), por el MVCS 2018^[16] y la guía del MEF 2011^[14]

REGIÓN	DOTACIÓN SEGÚN TIPO DE OPCION TECNOLÓGICA (l/hab.d)	
	SIN ARRASTRE HIDRÁULICO (COMPOSTERA Y HOYO SECO VENTILADO)	CON ARRASTRE HIDRÁULICO (TANQUE SÉPTICO MEJORADO)
COSTA	60	90
SIERRA	50	80
SELVA	70	100

Fuente: Normativa del MVC. (2018) ^[16]; y la guía del MEF. (2011) ^[14]

- Para el caso de piletas públicas se asume 30 l/hab.d.
- Para las instituciones educativas en zona rural debe emplearse la siguiente dotación:

Tabla 11: Dotación de agua para centros educativos, según el MVCS

DESCRIPCIÓN	DOTACIÓN (l/alumno.d)
Educación primaria e inferior (sin residencia)	20
Educación secundaria y superior (sin residencia)	25
Educación en general (con residencia)	50

Fuente: Normativa del MVC. (2018) ^[16]

- La dotación de agua para viviendas con fuente de agua de origen pluvial. Se asume una dotación de 30 l/hab.d. Esta dotación se destina en prioridad para el consumo de agua de bebida y preparación de alimentos, sin embargo, también se debe incluir un área de aseo personal y en todos los casos la opción tecnológica para la disposición sanitaria de excretas debe ser del tipo seco.

C. Antecedentes Teóricos Locales

En la región Cajamarca y específicamente en la zona de estudio, no se han realizado investigaciones que determinen bases de diseño como son los parámetros básicos en sistema de agua potable para poblaciones rurales.

2.2. BASES TEÓRICAS

A. Parámetros de diseño en sistemas de abastecimientos de agua

a) Periodo de diseño

El período de diseño se determina considerando los siguientes factores ^[16]:

- Vida útil de las estructuras y equipos.
- Vulnerabilidad de la infraestructura sanitaria
- Crecimiento poblacional.
- Economía de escala.

Como año cero del proyecto se considera la fecha de inicio de la recolección de información e inicio del proyecto, los períodos de diseño máximos para los sistemas de saneamiento deben ser los siguientes ^[16]:

Tabla 12: Periodos de diseño de infraestructura sanitaria

ESTRUCTURA	PERIODO DE DISEÑO
✓ Fuente de abastecimiento	20 años
✓ Obra de captación	20 años
✓ Pozos	20 años
✓ Planta de tratamiento de agua para consumo humano (PTAP)	20 años
✓ Reservorio	20 años
✓ Líneas de conducción, aducción, impulsión y distribución	20 años
✓ Estación de bombeo	20 años
✓ Equipos de bombeo	10 años
✓ Unidad Básica de Saneamiento (arrastre hidráulico, compostera y para zona inundable)	10 años
✓ Unidad Básica de Saneamiento (hoyo seco ventilado)	5 años

Fuente: Normativa del MVC. (2018) ^[16]

b) Población de diseño

Para estimar la población futura o de diseño, se debe aplicar el método aritmético, según la siguiente fórmula ^[16]:

$$P_d = P_i * \left(1 + \frac{r * t}{100}\right) \quad (1)$$

Donde, P_i : población inicial (habitantes), P_d : población futura o de diseño (habitantes), r : tasa de crecimiento anual (%) y t : periodo de diseño (años).

Es importante indicar:

- La tasa de crecimiento anual debe corresponder a los períodos intercensales, de la localidad específica.
- En caso de no existir, se debe adoptar la tasa de otra población con características similares, o en su defecto, la tasa de crecimiento distrital rural.

- En caso, la tasa de crecimiento anual presente un valor negativo, se debe adoptar una población de diseño, similar a la actual ($r = 0$), caso contrario, se debe solicitar opinión al INEI.

Para fines de estimación de la proyección poblacional, es necesario que se consideren todos los datos censales del INEI; además, de contar con un padrón de usuarios de la localidad. Este documento debe estar debidamente legalizado, para su validez ^[16].

c) Dotación de agua

A continuación, se presenta conceptos de dotación o consumo de agua, según diferentes bases teóricas consultadas:

- La dotación es la cantidad de agua que satisface las necesidades diarias de consumo de cada integrante de una vivienda, su selección depende del tipo de opción tecnológica para la disposición sanitaria de excretas sea seleccionada, las dotaciones de agua según la opción tecnológica para la disposición sanitaria de excretas y la región en la cual se implemente ^[16].
- El consumo diario “per cápita” o dotación es la cantidad media de agua utilizada diariamente por un habitante, que generalmente se expresa en litros. Este consumo sólo puede **determinarse en base a estadísticas permanentes** ^[12].

- **Factores genéricos que afectan el consumo de agua**

Entre los factores genéricos que afectan el consumo de agua, se destacan ^[12]:

Tamaño y nivel de vida de la población. El consumo por habitante será mucho mayor en ciudades grandes donde se disfruta de un nivel de vida elevado, requiriendo el uso del agua para diversos fines; mientras que, en pequeñas localidades, el uso del agua se limita a atender las necesidades primarias de uso doméstico.

Características culturales, económicas y sociales de la población.

No cabe duda de que será diferente el consumo “per cápita” en ciudades que en pequeñas comunidades rurales, debido a que el consumo es grandemente afectado por el desarrollo social, cultural y de actividades económicas como la industria, comercio, entre otras.

Clima de la zona. Influye en el consumo de agua, elevándolo en aquellas comunidades situadas en regiones tórridas y secas, y reduciendo su valor en las regiones templadas o frías.

Hábitos de higiene de la población. Es evidente que en una población sanitariamente educada el consumo será mayor, ya que el agua es un elemento fundamental para la higiene individual y del medio ambiente.

- **Factores específicos que afectan el consumo de agua**

Entre los factores específicos que afectan el consumo de agua, se destacan ^[12]:

Modalidad del abastecimiento. Es evidente que el consumo de agua en comunidades servidas por un sistema público de abastecimiento es mayor que en aquellas donde se cuenta con un sistema rudimentario. En el primer caso se tratará de agua potable, sanitariamente segura, disponible en cantidades satisfactorias para atender las necesidades; mientras que, en los abastecimientos rudimentarios, el agua se obtiene con dificultad, en muchos casos a precio relativamente alto, generalmente de aspecto desagradable y peligrosa para la salud.

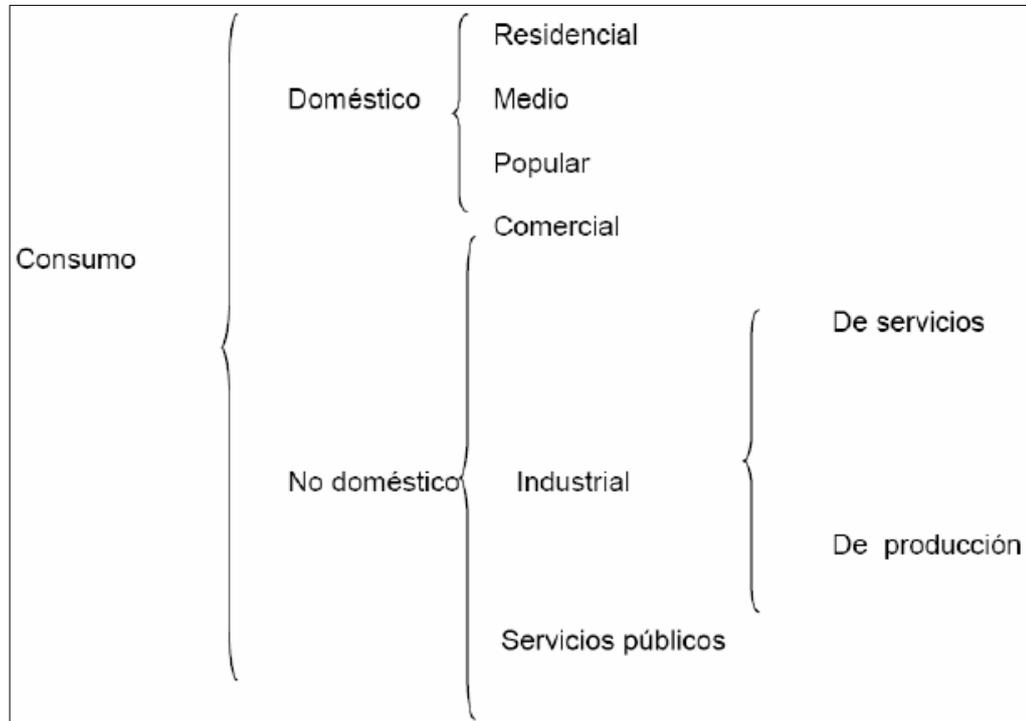
Calidad del agua suministrada. El agua potable tiene mucha mayor oportunidad de ser utilizada que otra turbia, dura, con olor o sabor desagradable. Cuando es mejorada la calidad del agua por medio de tratamientos, se observa un inmediato aumento del consumo.

Presión en la red de distribución. La presión en la red afecta grandemente el consumo a través de los derroches y las pérdidas.

Control de consumo. Cuando el uso del agua es controlado por medio de medidores o de reguladores de gasto, siendo la tarifa progresiva en función del propio consumo, el valor del mismo “per cápita” es inferior al registrado en localidades con servicio “por canilla libre”.

- El consumo de agua se determina de acuerdo con el tipo de usuarios, se divide según su uso en: doméstico y no-doméstico; el consumo doméstico, se subdivide según la clase socioeconómica de la población en residencial, medio y popular. El consumo no doméstico incluye el

comercial, el industrial y de servicios públicos a su vez, el consumo industrial se clasifica en industrial de servicio e industrial de producción (fábricas), esta clasificación se resume en el siguiente diagrama [7]:



- Los consumos se obtendrán con base en los histogramas, de preferencia de un año, de los registros del organismo operador^[7]; esto para el caso de ciudades donde exista una empresa prestadora de servicios de agua.
- La dotación mínima a adoptarse debe ser suficiente para satisfacer los requerimientos de consumo: doméstico, comercial, industrial, social y público, así como considerar las pérdidas en la red de distribución ^[15].
- **Doméstico o residencial:** A esta categoría pertenecen aquellos suscriptores que utilizan el servicio exclusivamente para uso doméstico en la vivienda.
- **Social:** A esta categoría pertenecen aquellos predios utilizados para tareas de educación y salud (escuelas, colegios, puestos de salud), exclusivamente.
- **Oficial:** Esta categoría comprende instancias y áreas públicas no comprendidas para educación y salud, como son: jardines, parques, cuarteles, entidades del gobierno y otros.

- **Comercial:** es la categoría a la cual pertenecen los suscriptores que utilizan el agua con fines de lucro dentro de alguna actividad comercial (restaurantes, lavado de vehículos, etc.).
 - **Industrial:** Es la categoría a la cual pertenecen aquellos suscriptores que utilizan el agua para fines de lucro y en los que se lleva procesos industriales utilizándose el agua como insumo en el proceso de transformación (fábricas de vinos, chicherías, etc.).
- Es un hecho necesario que la dotación de agua debe basarse en datos válidos y seguros. El valor de las normas no puede superar el de los datos en que estas se fundan. **La adopción de normas debe ir precedida de una investigación cuidadosa de los datos básicos. Las normas no deben basarse en supuestos o en cifras cuya única autoridad sea el hecho de haber sido aplicadas por largo tiempo, estudiadas y obtenidas de otros medios o bajo condiciones diferentes a su aplicación** [2].

d) Variaciones de consumo

A continuación, se presenta conceptos de variaciones de consumo de agua, según diferentes bases teóricas consultadas:

- Los consumos de agua de un poblado muestran variaciones mensuales, diarias y horarias. Durante un período (semana, mes, etc.) se puede observar que ocurren días de máximo y mínimo consumo [9].

Los coeficientes de variaciones de consumo son: el coeficiente de variación diaria (K_1) y el coeficiente de variación horaria (K_2).

- **El coeficiente de variación diaria (K_1)**, es la relación entre el consumo máximo diario y el consumo promedio diario anual, que se puede escribir mediante la expresión siguiente [9]:

$$K_1 = \frac{Q_{m\acute{a}x. d}}{Q_{md}} \quad (2)$$

Donde, K_1 : Coeficiente de variación diaria, $Q_{m\acute{a}x. d}$: Caudal máximo diario, Q_{md} : Caudal medio diario.

- **El coeficiente de variación horaria (K_2)**, es la relación entre el consumo máximo horario y el consumo promedio diario anual, que se puede escribir mediante la expresión siguiente ^[9]:

$$K_2 = \frac{Q_{m\acute{a}x.h}}{Q_{md}} \quad (3)$$

Donde, K_2 : Coeficiente de variación horaria, $Q_{m\acute{a}x.h}$: Caudal máximo horario, Q_{md} : Caudal medio diario.

- Para la Comisión Nacional del Agua en uno de sus manuales de agua potable, alcantarillado y saneamiento ^[7], define que los coeficientes de variación se derivan de la fluctuación de la demanda debido a los días laborables y otras actividades. Los requerimientos de agua para un sistema de distribución no son constantes durante el año, ni durante el día, sino que la demanda varía en forma diaria y horaria. Debido a la importancia de estas fluctuaciones para el abastecimiento de agua potable, es necesario obtener los gastos máximo diario y máximo horario, los cuales se determinan multiplicando el coeficiente de variación diaria por el gasto medio diario y el coeficiente de variación horaria por el gasto máximo diario respectivamente.
 - Para la obtención de los coeficientes de variación diaria y horaria adecuado es necesario: **Hacer un estudio de demanda de la localidad** ^[7].
- Según Arocha en su libro “Abastecimientos de agua” ^[2], describe que las variaciones horarias, durante un día cualquiera, los consumos de agua de una comunidad presentaran variaciones hora a hora dependiendo de los hábitos y actividades de la población.
 - En general, se ha establecido un valor de K_2 comprendido entre 200 y 300 por 100, reconociéndose que en las grandes ciudades, con mayor diversificación de actividades, mayor economía, etc., se presentan consumos menos diferenciados en horas nocturnas de las diurnas ^[2].
 - Por el contrario, **en localidades pequeñas este valor tiende al límite superior**, en razón de esa menor o ninguna actividad comercial, industrial y nocturna, ya que este valor tiende a separarse más del valor medio ^[2].

- Siendo evidente que existe variaciones horarias en los consumos de agua y que el sistema de abastecimiento en alguna de sus partes debe satisfacer esta necesidad, se trata de encontrar una relación que determine su proporcionalidad respecto al consumo medio promedio anual, y que ello pueda hacerse mediante la curva de variaciones horarias de consumo (ver figura siguiente) [2].

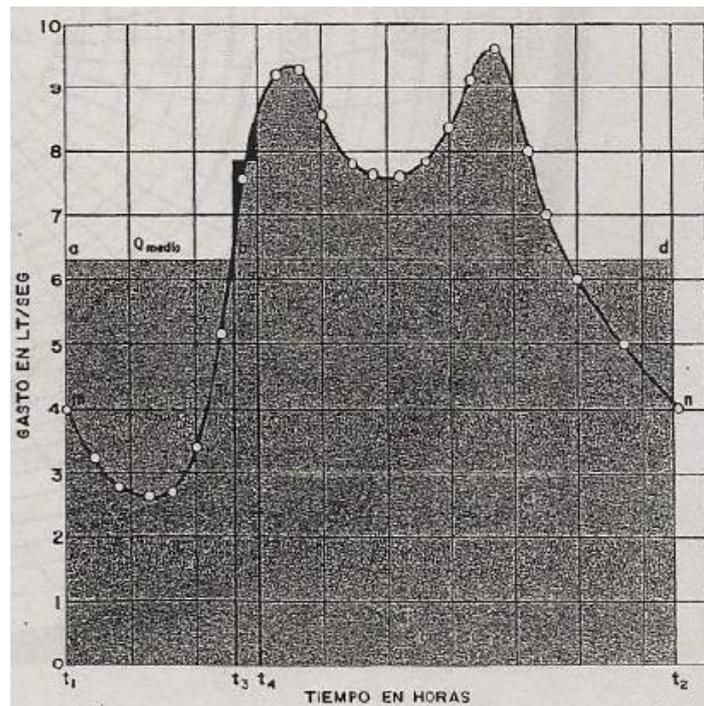


Figura 4: Curva típica de variación horarias de consumo, según Arocha, 1977

- Según Azevedo-Netto en su libro “Manual de Hidráulica” [3], manifiesta que, en un sistema público de abastecimiento de agua, la cantidad de agua consumida varía continuamente en función del tiempo, las condiciones climáticas, hábitos de popularidad, etc.
 - El coeficiente K_2 es la relación entre el mayor caudal horario y el caudal promedio del día de mayor consumo.
 - En la figura siguiente, relativa a variaciones horarias de consumo diario, muestra que en ciertos periodos del día el consumo supera en cerca del 50% del consumo medio del día.

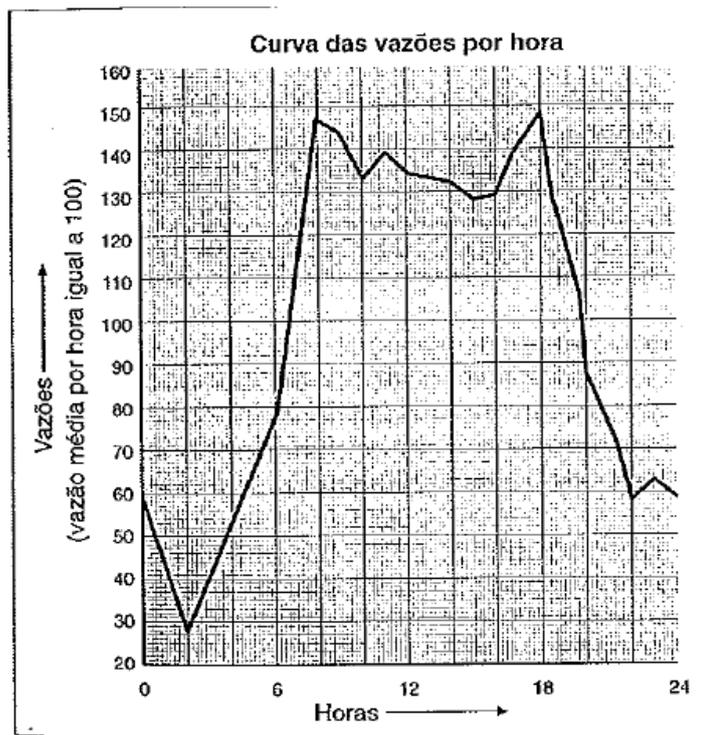


Figura 5: Variação horária de consumo de água em campsiñas (outubro de 1945), según Azevedo-Netto

- Las variaciones de consumo, según el Centro de Internacional de Agua y Saneamiento-CIR ^[5] ratifican lo antes dicho y se define de la siguiente manera:
 - La demanda diaria de agua en una comunidad variará durante el año debido al patrón estacional del clima, la situación de trabajo (por ejemplo, época de cosecha) y a otros factores, tales como ocasiones culturales o religiosas. Las cifras típicas para el uso doméstico y otros requerimientos de agua, son cifras promedio. Por lo general se calcula la demanda máxima diaria añadiendo del 10 al 30 por ciento de la demanda diaria promedio. Así, el factor de la demanda diaria (K_1) es 1.1 a 1.3 ^[5].
 - La variación horaria en la demanda de agua durante el día frecuentemente es mucho mayor. Generalmente, se puede observar dos periodos pico, uno en la mañana y otro en la tarde (ver figura siguiente). Para un área particular de distribución, este factor depende del tamaño y carácter de la comunidad servida. **El factor horario de pico (K_2) tiende a ser elevado para poblados rurales pequeños**, por lo general, es menor para comunidades más grandes y pequeños

pueblos. En lugares donde son comunes los tanques en los techos y otros recipientes de almacenamiento de agua, se reducirá en mucho el K_2 . Generalmente, se escoge del factor K_2 en la escala de 1.5 a 2.0 [5].

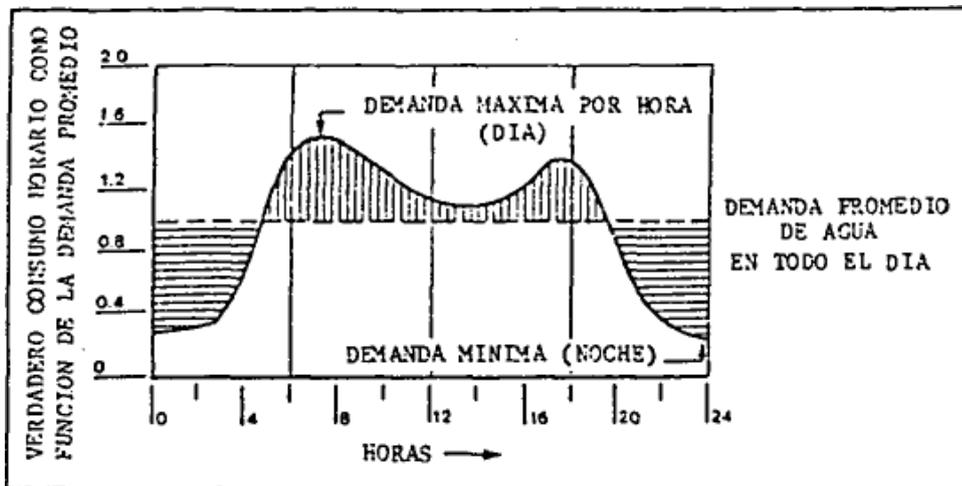


Figura 6: Variación de la demanda de agua durante el día, según el CIR, 1988 (CEPIS, OPS/OMS, Trad.)

- La Norma actual del Ministerio de Vivienda año 2018^[16], señala que para el consumo máximo diario (Q_{md}) se debe considerar un valor de $K_1 = 1,3$ del consumo promedio diario anual; y para el consumo máximo horario (Q_{mh}) se debe considerar un valor de $K_2 = 2,0$ del consumo promedio diario anual. Sin embargo, esta bibliografía no señala la fuente de investigación, mucho menos su base en estudios de demanda de agua, por lo que no se ha considerado como un antecedente teórico.
- La Norma "OS-100" referida a poblaciones urbanas del Reglamento Nacional de Edificaciones ^[17], expresa que, en los abastecimientos por conexiones domiciliarias, los coeficientes de las variaciones de consumo, referidos al promedio diario anual de la demanda, **deberán ser fijados en base al análisis de información estadística comprobada**. De lo contrario se podrán considerar los siguientes coeficientes:
Máximo anual de la demanda diaria: 1.3
Máximo anual de la demanda horaria: 1.8 a 2.5
Sin embargo, esta bibliografía no señala la fuente de investigación, mucho menos su base en estudios de demanda de agua, por lo que no se ha considerado como un antecedente teórico.

- La Guía Saneamiento Básico del Ministerio de Economía y Finanzas 2011^[14], para el ámbito rural consideran los factores:

- K₁ Factor Máximo Diario: 1.3
- K₂ Factor Máximo Horario: 2.0

Sin embargo, esta bibliografía no señala la fuente de investigación, mucho menos su base en estudios de demanda de agua, por lo que no se ha considerado como un antecedente teórico.

e) Caudales de diseño

– Caudal medio diario promedio anual

Es el consumo promedio diario de una población, obtenido de un año de registros. Se determina con base en la población del proyecto y dotación, de acuerdo a la siguiente expresión ^[15]:

$$Q_{md} = \frac{P_f * D_f}{86400} \quad (4)$$

Donde, Q_{md}: caudal medio diario en l/s, P_f: población futura en hab., D_f: dotación futura en l/hab-d.

El gasto medio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio ^[7].

– Caudal máximo diario

Es la demanda máxima que se presenta en un día del año, es decir representa el día de mayor consumo del año. Se determina multiplicando el caudal medio diario y el coeficiente K₁ que varía según las características de la población ^[15].

$$Q_{m\acute{a}x.d} = K_1 * Q_{md} \quad (5)$$

Donde, Q_{máx.d}: caudal máximo diario en l/s, K₁: coeficiente de variación máximo diario, Q_{md}: caudal medio diario en l/s.

Es el caudal que debe proporcionar la fuente de abastecimiento, y se utiliza para diseñar la obra de captación, su equipo de bombeo, la conducción y el tanque de regulación y almacenamiento ^[7].

– Caudal máximo horario

Es la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo. **Se determina multiplicando el caudal máximo diario y el coeficiente K_2** que varía, según el número de habitantes ^[15].

$$Q_{\text{máx.h}} = K_2 * Q_{\text{máx.d}} \quad (6)$$

Donde, $Q_{\text{máx.h}}$: caudal máximo horario en l/s, K_2 : coeficiente de variación máximo horario, $Q_{\text{máx.d}}$: caudal máximo diario en l/s.

La Comisión Nacional del Agua en uno de sus manuales ^[7], define al caudal máximo horario (**$Q_{\text{máx.h}}$**), **como el requerido para satisfacer las necesidades de la población en el día de máximo consumo y a la hora de máximo consumo**. Este gasto se utiliza, para calcular las redes de distribución. Es decir **se obtiene en función del caudal máximo diario ($Q_{\text{máx.d}}$)**, con la ecuación anterior (6).

Según la normativa actual de Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento ^[16] y la guía sobre agua y saneamiento para la formulación de proyectos de inversión exitosos del MEF ^[14]; definen que el caudal máximo horario ($Q_{\text{máx.h}}$), se debe considerar un valor de 2,0 del consumo promedio diario anual, **es decir en función del caudal medio diario promedio anual (Q_{md})**, con la expresión.

$$Q_{\text{máx.h}} = 2 * Q_{\text{md}} \quad (7)$$

Según Arocha (1977) en su libro “Abastecimientos de agua” ^[2], **el consumo máximo horario representa la hora de máximo consumo**. Si por definición, **tomamos la curva correspondiente al día de máximo consumo, esta hora representará el consumo máximo horario**, el cual **puede ser relacionado respecto al consumo medio**, mediante la expresión:

$$Q_{\text{máx.h}} = K_2 * Q_{\text{md}} \quad (8)$$

– Caudal de bombeo

Existen dos alternativas para calcular el caudal de bombeo:

- **Bombeo a un tanque de almacenamiento**

El equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo ^[15].

$$Q_b = Q_{\text{máx.d}} * \frac{24}{N} \quad (9)$$

Donde, Q_b: caudal de bombeo, Q_{máx.d}: caudal máximo diario en l/s, N: número de horas de bombeo.

- **Bombeo directo a la red de distribución**

Cuando el bombeo se realiza directamente a la red de distribución, el caudal de bombeo será igual al caudal máximo horario. El sistema de bombeo debe ser regulado por un sistema automático de las presiones máximas y mínimas para evitar roturas de en la red y/o áreas de sub presión ^[15].

B. Reservorio

Conocido como tanques de almacenamiento son estructuras civiles destinadas al almacenamiento y regulación del agua. Tienen como función mantener un volumen adicional como reserva y garantizar las presiones de servicio en la red de distribución para satisfacer la demanda de agua ^[15].

La capacidad del tanque de almacenamiento, debe ser igual al volumen que resulte mayor de las siguientes consideraciones ^[15]:

- 1º. Volumen de regulación
- 2º. Volumen contra incendios
- 3º. Volumen de reserva

a) Volumen de regulación

- Una de las bibliografías consultadas define que el cálculo del volumen puede ser realizado de dos formas ^[15]:

- **Curvas de consumo**

En el que se toma en cuenta la curva de **variaciones horarias de la demanda en el día de máximo consumo**, la curva de consumos acumulados y las características del sistema (gravedad, bombeo, funcionamiento continuo, discontinuo, etc.) ^[15].

- **Coefficientes empíricos**

Para sistemas por gravedad, **el volumen del tanque de regulación debe estar entre el 15% a 30% del consumo máximo diario. Se empleará el mayor valor cuando el caudal máximo horario sea muy alto respecto al caudal medio diario** (demanda instantánea elevada) **y/o cuando el**

periodo de no uso del agua sea prolongado. Para sistemas **por bombeo**, el volumen del tanque de regulación debe estar entre el **15 a 25% del consumo máximo diario**, dependiendo del número y duración de las horas de bombeo, así como de los horarios en los que se realicen dichos bombeos. Para cualquiera de los casos el volumen debe ser determinado utilizando la siguiente expresión ^[15]:

$$V_r = C * Q_{\text{máx.d}} * t_r \quad (10)$$

Donde, V_r : volumen de regulación en m^3 , C : coeficiente de regulación (sistemas con tanque semienterrado 0.15 a 0.30, sistemas con tanque elevado 0.15 a 0.25), $Q_{\text{máx.d}}$: caudal máximo diario en m^3/d , $t_r = 1$ día como mínimo

- **Otro concepto importante**, es la definición de la Guía de Saneamiento Básico del MEF 2011^[14], que dice, **la variación de la demanda es absorbida por el reservorio de regulación y por la capacidad de las redes de distribución**, notándose claramente que **una de las funciones principales del reservorio es la regulación de la demanda**.
- Por su parte la Comisión Nacional del Agua en otro de sus manuales ^[8], define que, el tanque de regulación se diseña de forma tal que sea capaz de almacenar el agua que se acumula **durante los intervalos en que el gasto de salida (conducido a la red) es menor que el de entrada (intervalos de menor demanda)** y mantener además en él un volumen de reserva destinado a satisfacer los requerimientos cuando el gasto de salida es mayor que el de ingreso (horas de mayor demanda). De acuerdo con esto, **resulta importante para la determinación de la demanda, conocer la ley de variación horaria que la rige** y establecer, a partir de esta variación, la correspondiente variación del volumen dentro del tanque.
Existen dos métodos para calcular el volumen de un tanque regulador, y en ambos se puede optar por hacer el cálculo ya sea directamente con los volúmenes que tendrá el tanque o con porcentajes del volumen demandado (por hora o por día). El primero de ellos es el método analítico y el segundo es el método gráfico. El análisis se realiza usualmente a intervalos de una hora con las condiciones críticas tanto de demanda como de abastecimiento al tanque ^[8].

- **Método analítico**

Este método consiste en determinar la variación del volumen del tanque dado el gasto de ingreso y la ley de variación horaria de la demanda expresada como un porcentaje del gasto medio demandado por la población. Para llevarlo a cabo se elabora una tabla de cálculo tal como la que se muestran más adelante (Tabla 13). En dicha tabla se anota en la **primera columna** el intervalo de tiempo (una hora: 0 - 1, 1 - 2,...). En la **segunda columna** se anota el gasto de entrada al tanque (en algunos casos puede optarse por no incluirla y calcular directamente la tercera columna). En la **tercera columna** se calcula el volumen de agua que se acumula durante el intervalo con el gasto indicado en la segunda columna (si el gasto de entrada es constante a lo largo del día puede optarse por solo calcular esta columna). Al elaborar la segunda columna, en caso de tener varias fuentes deberán considerarse las horas en que operan y sumar los gastos según sea necesario

Una vez que se calcularon los volúmenes disponibles en el tanque para satisfacer la demanda, se calculan los volúmenes demandados por la población. Dado que se han hecho los estudios respectivos (periodo de diseño, población de proyecto, dotación, gasto medio diario, etc.), se conoce el gasto medio diario y el tipo de población. Con base en el tipo de población se propone una ley de variación horaria de la demanda, o si se cuenta con registros de consumos de la población puede determinarse la ley de variación horaria local. **La ley de variación horaria establecida se anota en la cuarta columna** de la tabla de cálculo. A continuación, en la **quinta columna** se anota el producto del gasto medio diario por el coeficiente de variación horaria, el cual representa el gasto horario de demanda de la población. Una vez conocido dicho gasto, se calcula el volumen demandado de agua por hora, el cual se anota en la **sexta columna** de la tabla.

Una vez determinados los volúmenes disponibles en el tanque y los demandados por la población a cada hora, puede hacerse un balance entre ambos para determinar la capacidad del tanque regulador. Una manera de hacerlo, consiste en restar el volumen de salida del tanque (V_s) al volumen de entrada al mismo (V_e), es decir, calcular el valor de V_e

- Vs , el cual, a menudo es llamado diferencia. Tal valor se anota en la **séptima columna**. Se aprecia que algunos valores tienen signo negativo, lo cual se debe a que existen déficits, es decir, faltantes para cubrir la demanda. Finalmente, se anota en la **octava columna** una suma acumulada de las diferencias, incluyendo su signo.

Para determinar la **capacidad del tanque se sumará el valor absoluto del máximo déficit encontrado en la octava columna y el máximo superávit, lo cual representa el volumen útil que deberá tener el tanque para regular la demanda.**

Para comprobar dicho volumen puede adicionarse a la tabla de cálculo una **novena columna** donde se supone un volumen inicial igual al máximo déficit presentado en la octava columna el cual suma con las diferencias acumuladas también de la octava columna. De hecho, puede apreciarse que la octava columna representa iniciar con el tanque vacío, y la novena columna tiene en cuenta el máximo déficit que pudiera presentarse por lo que no se tiene ningún valor negativo en dicha columna (no se presentan déficits). Pueden hacerse varios ensayos con volúmenes iniciales menores o mayores al máximo déficit presentado en la octava columna y observar el comportamiento del tanque para diferentes volúmenes iniciales.

Una variante del método consiste en definir los porcentajes de los volúmenes disponibles (de acuerdo a las políticas de operación) y de demanda (de acuerdo a la ley de variación horaria) a cada hora y realizar el balance con base en dichos porcentajes.

La ventaja de utilizar porcentajes radica en el hecho de que se puede observar el comportamiento del tanque sin conocer los volúmenes de ingreso o de salida del tanque.

En general, se observa que, en caso de abastecer a la población por intervalos de operación de bombas, pozos, etc., el máximo déficit se presentará al finalizar el periodo más largo de inactividad en el suministro o al terminar el intervalo de mayor consumo, y el máximo superávit (volumen máximo acumulado en el tanque) se presentará al finalizar el periodo de suministro de mayor duración o volumen (dependiendo de la fuente) o al acabar el intervalo de menor demanda. Lo anterior puede

observarse en la Tabla 13, donde se ha supuesto un periodo de operación del suministro y posteriormente se considera que el suministro es continuo.

A fin de diseñar un tanque de regulación más económico pueden ensayarse varias opciones de abastecimiento al tanque, como pueden ser: abastecer de mayores volúmenes al tanque durante las horas pico (lo cual puede hacerse si se cuenta con varias bombas), o abastecer al tanque durante los periodos de mayor demanda (evitando el abastecimiento al tanque en los periodos de menor demanda pues se debe almacenar mayor cantidad de agua).

En algunos casos, puede representar una buena opción optimar lo más posible las políticas de operación de bombas de suministro al tanque, buscando que las diferencias anotadas en la séptima columna sean mínimas, es decir, idealmente se buscaría que dichas diferencias fueran "cero", pero por políticas de operación conviene uniformizarlas por periodos de 4, 6, 8, o 12 horas para que sean mínimas.

En caso de que no puedan implantarse políticas óptimas de operación, puede buscarse un abastecimiento continuo al tanque procurando que el gasto medio diario de abastecimiento sea igual al gasto medio diario de consumo de la población [8].

- **Método gráfico**

Este método es muy semejante al anterior, pero en lugar de utilizar una tabla de cálculo se trazan los volúmenes acumulados con respecto al tiempo en una gráfica. Esta gráfica se conoce como "curva masa" o diagrama de Rippl (figura siguiente). En lugar de los volúmenes también pueden utilizarse los porcentajes [8].

Entre las características de esta curva se encuentran:

a) La diferencia entre dos ordenadas mide el volumen en ese intervalo del tiempo:

$$V_2 - V_1 = \text{Volumen entre } t_1 - t_2$$

b) La pendiente de la tangente en un punto de la curva mide el gasto en ese punto:

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (11)$$

c) La línea que une dos puntos de la curva tiene una pendiente que representa el gasto medio entre esos dos puntos, o intervalo.

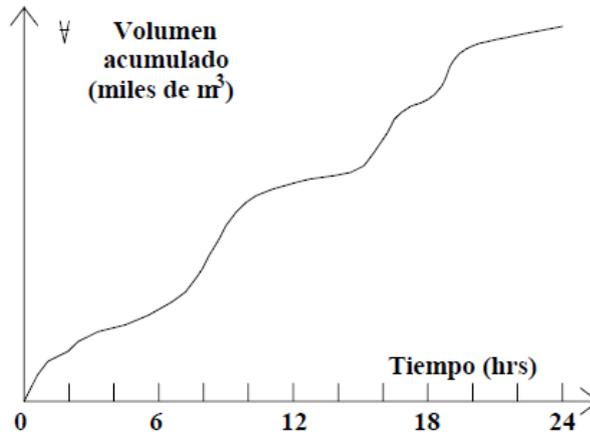


Figura 7: Curva típica de masa o consumo acumulado

Cuando se tienen varias curvas masa debido a que el tanque cuenta con varias entradas o salidas, se suman para obtener las curvas resultantes representativas, tanto de entrada como de salida.

El volumen del tanque se obtiene gráficamente al combinar las curvas masas de ingreso y de salida trazándolas en un mismo sistema de ejes coordenados (tiempo-volumen). Si la curva masa de entrada está por arriba de la salida representa un excedente; en caso contrario, equivale a un faltante.

Como todos los métodos gráficos, éste es susceptible de error en la apreciación de las lecturas; además, requiere cierta destreza para trazar las curvas. Finalmente, puede resultar difícil ajustar gráficamente las curvas para lograr un balance entre los ingresos y las demandas. Por lo anterior puede ser más conveniente usar el método analítico para diseñar un tanque de regulación [8].

Procedimiento de aplicación del método Analítico:

Diseñar el tanque de regulación de una población cuyo gasto medio diario de demanda es de $0.125 \text{ m}^3/\text{s}$. Para abastecer a dicha población se dispone de una serie de pozos, cuyo período de operación se estima de 8 horas, iniciando a las 10:00 y terminando a las 18:00 horas [8].

Solución

El primer paso es seleccionar o determinar una ley de variación horaria. En este caso se consideró la anotada en la cuarta columna de la tabla 13

con el procedimiento de cálculo, la cual se determinó de una población conocida (Cesar, 1990).

Como última parte del procedimiento, se presenta la tabla 13 con procedimiento, donde se ha aplicado el método analítico con volúmenes para determinar la capacidad del tanque regulador cuando la política de operación de la fuente consiste en mantener durante las 24 horas un gasto igual al gasto medio diario de demanda. Se deja como ejercicio al lector el realizar el cálculo con porcentajes.

Tabla 13: Procedimiento de aplicación del método analítico con volúmenes (Bombeo de 24 h), por la CNA

1	2	3	4	5	6	7	8	9
					Volumen inicial =		0	661.5
Tiempo (h)	Q _e (m ³ /s)	V _e (m ³)	C.V.H.	Q _s (m ³ /s)	V _s (m ³)	V _e -V _s (m ³)	V. acum. (m ³)	V. acum. (m ³)
0 - 1	0.125	450	0.53	0.066	238.5	211.5	211.5	873.0
1 - 2	0.125	450	0.49	0.061	220.5	229.5	441.0	1102.5
2 - 3	0.125	450	0.44	0.055	198.0	252.0	693.0	1354.5
3 - 4	0.125	450	0.44	0.055	198.0	252.0	945.0	1606.5
4 - 5	0.125	450	0.45	0.056	202.5	247.0	1192.5	1854.0
5 - 6	0.125	450	0.56	0.070	252.0	198.0	1390.5	2052.0
6 - 7	0.125	450	1.26	0.158	567.0	-117.0	1273.5	1935.0
7 - 8	0.125	450	1.90	0.238	855.0	-405.0	868.5	1530.0
8 - 9	0.125	450	1.71	0.214	769.5	-319.5	549.0	1210.5
9 - 10	0.125	450	1.44	0.180	648.0	-198.0	351.0	1012.5
10 - 11	0.125	450	1.43	0.179	643.5	-193.5	157.5	819.0
11 - 12	0.125	450	1.27	0.159	571.5	-121.5	36.0	697.5
12 - 13	0.125	450	1.21	0.151	544.5	-94.5	-58.5	603.0
13 - 14	0.125	450	1.09	0.136	490.5	-40.5	-99.0	562.5
14 - 15	0.125	450	1.05	0.131	472.5	-22.5	-121.5	540.0
15 - 16	0.125	450	1.10	0.138	495.0	-45.0	-166.5	495.0
16 - 17	0.125	450	1.20	0.150	540.0	-90.0	-256.5	405.0
17 - 18	0.125	450	1.29	0.161	580.5	-130.5	-387.0	274.5
18 - 19	0.125	450	1.46	0.183	657.0	-207.0	-594.0	67.5
19 - 20	0.125	450	1.15	0.144	517.5	-67.5	-661.5	0.0
20 - 21	0.125	450	0.75	0.094	337.5	112.5	-549.0	112.5
21 - 22	0.125	450	0.65	0.081	292.5	157.5	-391.5	270.0
22 - 23	0.125	450	0.60	0.075	270.0	180.0	-211.5	450.0
23 - 24	0.125	450	0.53	0.066	238.5	211.5	0.0	661.5
	Sumas =	10,800	24.00		10,800	0		

Fuente: Comisión Nacional del Agua-CNA (2007). Redes de distribución ^[8]

A partir de la tabla 13, se obtienen el máximo déficit y el máximo superávit, y así el volumen útil del tanque:

$$| \text{Máximo déficit} | + | \text{Máximo superávit} | = | -661.5 | + 1,390.5 = 2,052 \text{ m}^3$$

Se aprecia la disminución del volumen del tanque en comparación a la política de operación de solo 8 h. Además, en este caso, el volumen inicial del tanque debe ser de 661.5 m³ al inicio del ciclo de operación. Se observa que el máximo déficit se presenta al finalizar las horas de mayor demanda (20:00 horas), y el máximo superávit al terminar las horas de menor demanda (6:00 horas).

Para finalizar, se puede determinar el volumen total del tanque regulador, puesto que solo se ha obtenido su volumen útil. Para ello se puede elegir a partir de tanques tipo el que más se aproxime al de diseño, o proponer una geometría del tanque y determinar alguna de sus dimensiones.

- Por otro lado El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, tanto en la Norma vigente del año 2018 para el ámbito rural ^[16] y la Norma OS.030 para el ámbito urbano ^[17], manifiesta que el volumen de almacenamiento debe ser del **25% de la demanda diaria promedio anual Qp (también denotado Qmd)**, siempre que el suministro de agua de la fuente sea continuo. Si el **suministro es discontinuo, la capacidad debe ser como mínimo del 30% de Qmd**. Sin embargo esta bibliografía no señala la fuente de investigación, mucho menos su base en estudios de demanda de agua, por lo que no se ha considerado como un antecedente teórico.
- La Guía para Saneamiento Básico del MEF/SNIP ^[14], indica que la capacidad de regulación es del **15% al 20% de la demanda de producción promedio anual**, siempre que el suministro sea continuo. Si dicho suministro es **por bombeo, la capacidad será del 20 a 25% de la demanda promedio anual**. Sin embargo esta bibliografía no señala la fuente de investigación, mucho menos su base en estudios de demanda de agua, por lo que no se ha considerado como un antecedente teórico.
- El autor Roger Agüero en su libro “Agua potable para poblaciones rurales” ^[1]. Señala que para determinar el volumen de almacenamiento se utilizan métodos gráficos y analíticos. Los primeros se basan en la determinación de la “curva de masa” o de “consumo integral”, considerando los consumos acumulados; para los métodos analíticos, **se debe disponer**

de los datos de consumo por horas y del caudal disponible de la fuente, que por lo general es equivalente al consumo promedio diario. En la mayoría de las poblaciones rurales no se cuenta con información que permita utilizar los métodos mencionados. Para los proyectos de agua potable por gravedad, el Ministerio de Salud recomienda una capacidad de regulación del reservorio del **25 al 30% del volumen del consumo promedio diario anual (Qmd)**. A continuación se presenta la curva típica del método gráfico, una curva de masa donde se calcula la capacidad del reservorio.

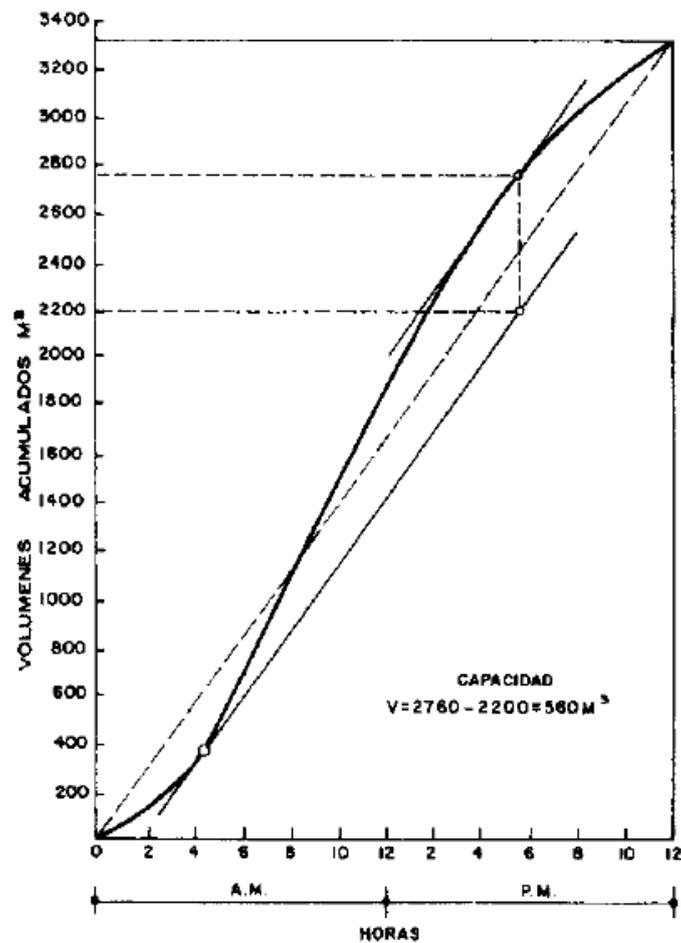


Figura 8: Curva de masa de consumos acumulados, por Agüero, 1997

- Según el Centro de Internacional de Agua y Saneamiento-CIR [5], también describe que se puede determinar el volumen requerido de almacenamiento en base a la demanda de agua con métodos gráficos. Por lo general sería adecuado un reservorio de servicio con un volumen de almacenamiento de **20 a 40% de la demanda diaria máxima** de agua, aunque se puede requerir un reservorio más grande en situaciones en

las que cualquier interrupción del abastecimiento de agua sea particularmente crítica.

- (García, 2009) del Fondo Perú-Alemania ^[10]; en cuanto a la capacidad del reservorio de regulación, recomienda el **25% del volumen de abastecimiento medio diario (Qmd)**. Esto equivaldría a un **almacenamiento de 6 horas por día** (aproximadamente 10 p.m. a 4 a.m.). Además hace referencia a DIGESA, la cual recomienda 15% en proyectos por gravedad y 20% en proyectos con bombeo.

b) Pérdidas físicas de agua.

Pérdidas reales de agua potable producida pero no utilizada. Puede ser resultado de: **Fugas** en las tuberías en mal estado, **rebose** no controlado en los reservorios, **agua utilizada para limpieza** de las unidades de la planta de tratamiento, entre otros. Las pérdidas se estiman como porcentaje de la producción ^[14]:

Pérdidas físicas = (producción) x (% de pérdidas).

Para otros autores como La Comisión Nacional del Agua en uno de sus manuales ^[8], define las **Fugas** como el porcentaje del volumen total de agua abastecida correspondiente a fugas, se determinará mediante un estudio específico de acuerdo a lo indicado en el tema (tomo aparte) "Datos básicos" de este manual. Cuando no sea posible efectuar este tipo de estudio, se estimará el porcentaje de fugas de acuerdo con los criterios expuestos en el mismo tema. El porcentaje de fugas obtenido, se verificará con los datos de macro medición y micro medición, expresados como la diferencia entre el volumen suministrado y el volumen consumido, si es que se cuenta con esa información. El porcentaje del volumen total de agua abastecida que corresponde a las fugas, se aplicará a la proyección de la demanda como una demanda adicional a la obtenida como producto del consumo, y su valor se reducirá gradualmente a lo largo del periodo de diseño siempre que se prevean acciones para reducirlas.

c) Producción de agua potable.

La suma del consumo y las pérdidas físicas da la producción que se requerirá, como se muestra la siguiente expresión ^[14]:

$$Q_{\text{produccion}} = \text{Demanda de consumo} + \text{PF} \quad (12)$$

$$Q_{\text{produccion}} = \frac{\text{Demanda de consumo}}{1 - \%PF/100} \quad (13)$$

Donde, Qproducción: volumen de producción requerido, PF: pérdidas físicas

C. Red de distribución

Una red de distribución (que se denominará en lo sucesivo red) es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta las tomas domiciliarias o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como el extinguir incendios [8].

La red debe proporcionar este servicio todo el tiempo, en cantidad suficiente, con la calidad requerida y a una presión adecuada. Los límites de calidad del agua, para que pueda ser considerada como potable se establecen en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1 vigente [8].

a) Determinación de caudales en la red de distribución

La red de distribución se deberá diseñar para el caudal máximo horario [6] y [15].

Métodos para la determinación de caudales:

- Se puede usar el **Método de Áreas, Método de la Densidad Poblacional, Método de la Longitud Unitaria, Método del Número de Familias**, este último más usado y se puede aplicar a redes cerradas y abiertas. Por este método se calcula un caudal unitario, dividiendo el caudal máximo horario entre el número total de familias de la población. El caudal en el nudo, será el número de familias en su área de influencia, multiplicado por el caudal unitario [6]. [15].

$$Q_n = q_u * N_{fn} \quad (14)$$

Donde, q_u : caudal unitario (l/s-fam) = $Q_{\text{máx.h}} / N_f$, Q_n : caudal en el nudo "n" (l/s), $Q_{\text{máx.h}}$: caudal máximo horario (l/s), N_f : número total de familias, N_{fn} : número de familias en el área de influencia del nudo "n"

- **Método probabilístico o de Simultaneidad**, en las redes abiertas, si la red abasteciera a más de 30 conexiones, podrán emplearse el

método anterior. En caso de tener menos de 30 conexiones, la determinación de caudales por ramales se realizará por el método probabilístico o de simultaneidad. Se recomienda aplicar la siguiente fórmula^{[6], [15]}:

$$Q_{ramal} = K * \sum Q_g \quad (15)$$

$$K = 1/(X - 1)^{-0.5} \quad (16)$$

Donde, Q_{ramal} : Caudal de cada ramal (l/s), Q_g : Caudal por grifo (este valor no será inferior a 0.1 l/s), K: Coeficiente de Simultaneidad (en ningún caso $K < 0.20$), X: Número total de grifos en el área que abastece cada ramal ($X \geq 2$).

– Método Racional o Español

Al igual que en el método de la simultaneidad (establecido por la Norma Francesa NP 41-204 para toda clase de edificios), para la obtención del **caudal instantáneo máximo probable (Q_p)** se establecen los **caudales instantáneos máximo posibles de los aparatos instalados ($q_{m\acute{a}x}$)**, se suman y se afectan los resultados por el coeficiente de simultaneidad K_1 , pero en éste caso **n será el número de aparatos instalados en una vivienda**; de diferentes congresos internacionales sobre el tema se ha concluido por conveniencia que K_1 en ningún caso será inferior a 0,2; aunque es una condición que puede ser revaluada ^[11] y [4].

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{(n-1)}} \quad (17)$$

$$Q_p = K_1 * q_{m\acute{a}x} \quad (18)$$

En conjuntos de viviendas de similares características, para considerar la simultaneidad, el caudal punta Q_p del distribuidor (tramo) común a un determinado número de las mismas se obtiene como la sumatoria de los caudales punta Q_p de cada vivienda, afectado por el factor K_2 ^{[11], [4]}:

$$K_2 = \frac{(N+19)}{10 * (N+1)} \quad (19)$$

$$Q_{p \text{ tramo}} = K_1 * K_2 * q_{m\acute{a}x} \quad (20)$$

Donde, N: es el número de viviendas. Para un buen funcionamiento de los aparatos, en la tabla siguiente se muestran los caudales mínimos que se deben suministrar ^[11] y [4].

Caudales mínimos en aparatos sanitarios

APARATO	Q (lt/seg)	P (Kg/cm ²)	P (mca)
Lavabo	0,10	0,35	3,50
Sanitario con depósito	0,10	0,35	3,50
Ducha	0,20	1,00	10,00
Lavadero	0,20	0,35	3,50
Lavadora	0,20		
Lavaplatos	0,20		
Llave Exterior	0,25		
Fregadero	0,20	0,35	3,50
Bidet	0,10	0,35	3,50
Bañera	0,30	1,00	10,00
"Oficce"	0,15	0,35	3,50
Fluxómetros	0,95 - 2,0	1,00	10,00
Nota: Según normatividad española			

Fuente: Castro, Garzón & Ortiz. (2006) ^[4]

b) Velocidades de flujo en la red de distribución

Para diversos autores la velocidad de flujo en las redes de distribución varía en un rango definido, tales como:

- La velocidad mínima en la red de distribución, en ningún caso debe ser menor a 0,30 m/s para garantizar la autolimpieza del sistema. Para poblaciones pequeñas, se aceptarán velocidades menores, solamente en ramales de distribución. La velocidad máxima en la red de distribución no debe ser mayor a 2,00 m/s ^[15].
- La velocidad mínima en ningún caso será menor de 0,3 m/s y deberá garantizar la auto limpieza del sistema. En general se recomienda un rango de velocidad de 0,5 –1,00 m/s. Por otro lado, la velocidad máxima en la red de distribución no excederá los 2,00 m/s ^[6].
- A fin de que no se produzcan pérdidas de carga excesivas, puede aplicarse la fórmula de Mougnie para la determinación de las velocidades ideales para cada diámetro. Dicha fórmula aplicable a presiones a la red de distribución de 20 a 50mca está dada por^[6]:

$$V = 1.5 * (D + 0.05)^{0.5} \quad (21)$$

Donde, V = Velocidad (m/s), D = Diámetro de la tubería (m)

- La Comisión Nacional del Agua, en el tema “Redes de distribución” del manual de agua potable y alcantarillado ^[8]; en el acápite elaboración del

proyecto, expresa la metodología respecto al diseño de la red de distribución donde uno de los pasos es hacer el análisis o cálculo del funcionamiento hidráulico de la red para verificar si se cumplen las siguientes condiciones:

- En el tema "Datos básicos" del mismo manual se indican también velocidades mínimas admisibles. Estas son obligatorias en tuberías de conducción. En una red de distribución que opera con gastos variables durante el día, no es posible lograr en todos los tramos y en todos los momentos una velocidad mínima, y esa condición no es obligatoria. Se tratará de cumplirla en lo posible para las tuberías de mayor diámetro, de tal manera que para las condiciones de demanda máxima horaria la velocidad mínima sea igual o mayor a 0.3 m/s.
 - Las velocidades normales en redes están entre 0.60 y 1.50 m/s. En sistemas por gravedad con cargas suficientes las velocidades pueden ser más altas.
- La Norma "OS-050" de alcance a localidades mayores a 2,000 hab. del Reglamento Nacional de Edificaciones ^[17], también expresa velocidades para la red de distribución, como velocidad máxima será 3m/s. En caso justificado se aceptará una velocidad máxima de 5m/s.
- Lossio en su tesis "Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones" ^[12]. Manifiesta que es muy importante calcular la velocidad y presión de agua en las tuberías. Cuando se trata de un sistema rural de abastecimiento de agua es aceptable tener velocidades menores a 0.6m/s para minimizar las pérdidas por fricción y se deberá mantener una presión de por lo menos 5 m en los puntos críticos, tal como lo recomiendan las normas generales del Ministerio de Salud. Y que la velocidad del flujo a través de la tubería se obtiene mediante la ecuación de continuidad.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi * d^2/4} \quad (22)$$

Donde, V: velocidad de flujo a través de la tubería en m/s, Q: caudal del flujo en m³/s, A: área de la sección transversal de la tubería en m².

c) Funcionamiento hidráulico

La Comisión Nacional del Agua –CNA de México en el manual “Redes de distribución” [8], presenta la metodología más acertada y completa respecto a dicho subtema, no obstante aquí solo se presenta las definiciones sin profundizarnos en los métodos de cálculo para no extender demasiado las bases teóricas, así tenemos las siguientes definiciones:

- Las tuberías permiten transportar un fluido de un lugar a otro. Al punto o sección transversal de la tubería donde se extrae el fluido o donde se conecta con otra, se le llama nudo.
- En los estudios de redes de tuberías, se considera que una tubería es un conducto cerrado de cierta longitud. Cada una de las secciones transversales de sus extremos está asociada a un nudo.
- Una red de tuberías es un conjunto de tuberías interconectadas al menos en uno de sus extremos. Las redes de tuberías pueden ser de varios tipos como se mencionó en el capítulo 2 de este mismo manual.
- Para evaluar el funcionamiento hidráulico de una red de tuberías en la que se conocen los diámetros, longitudes y coeficientes de fricción, se requiere determinar las cargas de presión en los nudos que posee y los gastos que fluyen en las tuberías que la componen.
- Cuando en la operación de la red es a presión y los gastos que circulan en sus tuberías no cambian con el tiempo, se tiene el caso de flujo permanente. **Se le acostumbra llamar red estática.**
- En una red de tuberías con flujo permanente donde se conoce al menos la carga de presión uno de sus nudos (generalmente es el nivel de la superficie libre del agua de un tanque de almacenamiento) y los gastos que entran o salen de la red (pueden ser gastos suministrados a usuarios de la red), es posible calcular las presiones en los nudos y los gastos que circulan en cada una de sus tuberías.
- Por otra parte, cuando en una red que funciona a presión, salen gastos variables en el tiempo (por ejemplo, para proporcionar más caudal a usuarios que lo solicitan en cierto momento del día), los gastos que existen en las tuberías cambian con el tiempo. Estas condiciones corresponden a una **red con flujo no permanente o una red dinámica.**

- **Red de tuberías en régimen permanente (análisis estático).** Para encontrar las cargas y los gastos en una red se emplean los principios de conservación de la energía y de masa (continuidad).
- **Red de tuberías en régimen no permanente (análisis dinámico).** En las redes de tuberías los gastos de demanda son variables a lo largo del día, a ello se debe que cambien los niveles piezométricos y gastos en sus tuberías. Para el estudio de estos cambios se debe tomar en cuenta al tiempo en las ecuaciones de flujo de agua, dando lugar a las llamadas redes dinámicas. Las redes dinámicas permiten simular el flujo en las tuberías. A partir de sus resultados se determina la posibilidad de cumplir con los gastos de demanda, se revisa su comportamiento hidráulico y el tamaño de los tanques, se establecen políticas de operación, etc. La simulación del funcionamiento de la red comienza con el cálculo de cargas y gastos en régimen permanente (red estática).

d) Análisis hidráulico por Computadora

La Comisión Nacional del Agua –CNA de México en el manual “Redes de distribución” [8], dentro lo más resaltante indica lo siguiente:

- El análisis de redes por computadora es el proceso de emplear un modelo matemático contenido en un programa de computadora para simular el funcionamiento hidráulico de un sistema de distribución de agua potable, así como para definir las características del sistema para cumplir con criterios preestablecidos de diseño en lo referente a gastos y presiones disponibles.
- El modelo de computadora o "programa de redes", está compuesto de dos partes: un archivo de datos de la red que define el sistema en términos de tuberías, nudos y parámetros operacionales de tanques, estaciones de bombeo y válvulas; y un programa que resuelve una serie de ecuaciones hidráulicas de presión y gasto basadas en leyes físicas.
- El archivo de datos contiene las características físicas de los tubos, tales como la longitud, coeficiente de rugosidad, diámetro, y datos de los nudos, los cuales definen su cota topográfica y la demanda o abastecimiento de agua en dichos nudos. Los nudos o uniones de tuberías indican extremos finales de tuberías o segmentos de tuberías.

También se incluyen en este archivo los parámetros operacionales de la red, los cuales determinan el estado actual de las instalaciones complementarias del sistema tales como gasto y carga proporcionados por las estaciones de bombeo y elevación del nivel del agua en los tanques de distribución, así como el estado de las válvulas (reguladoras de presión, gasto, e incluso de seccionamiento, las cuales pueden ser cerradas por cuestiones operativas).

- El programa se basa en un proceso iterativo, partiendo de condiciones iniciales, para establecer una solución o conjunto de valores que satisface simultáneamente las ecuaciones de continuidad y energía en cada nudo de la red. Para redes con pocos circuitos, el cálculo puede "hacerse a mano" lo cual resulta muy laborioso y susceptible a errores en redes con mayor cantidad de circuitos. Por otra parte, el proceso se agiliza notablemente empleando un programa de computadora.
- El análisis de redes por computadora tiene **ventajas importantes**, en lo referente a factores como su factibilidad, bajo costo, así como su sencillez. La factibilidad radica en el hecho de que se dispone de computadoras lo suficientemente potentes y rápidas como para realizar los cálculos correctos en poco tiempo. Lo anterior, permite la evaluación de un mayor número de opciones de solución en poco tiempo a un costo accesible. El costo del análisis por computadora se refleja en consecuencia en el diseño de la red haciéndola más económica y eficiente. Asimismo, los costos de construcción, operación y mantenimiento son reducidos al ser la red más eficiente. La sencillez en el análisis permite una mayor concentración del analista y del operador en el funcionamiento de la red, lo cual redundará en una mejor comprensión del desempeño del sistema, así como en el desarrollo de mejores estrategias de operación bajo condiciones desfavorables.
- **Criterios para la selección del programa de redes**
Los programas de redes tienen gran variedad de aplicaciones y es importante que el usuario o analista establezca cual aplicación o uso es el más apropiado en su situación.

Es importante resaltar que **un programa de redes es una herramienta** de análisis y que el usuario deberá tener en cuenta su juicio y experiencia en la interpretación de resultados.

La **selección adecuada** del programa de redes depende de factores tales como los recursos de cómputo disponibles, juicio y experiencia del usuario o analista, así como de las aplicaciones destinadas al programa. Algunas de las funciones adicionales de los programas descritas en la parte (características de los programas de redes), simplifican en gran manera la toma de decisiones, sin embargo, algunas de estas funciones requieren equipos de cómputo costosos (estaciones de trabajo y plotters), así como capacitación adicional del usuario en el uso del programa y del equipo.

Es importante apreciar el grado de detalle deseado en el análisis. **Los modelos dinámicos o de periodos extendidos** proveen una simulación del sistema a lo largo del tiempo, pero requieren mayor cantidad de información (especialmente de parámetros operacionales y condiciones de demanda horaria). **Los modelos estáticos** requieren menos información, pero se necesita una mayor sensibilidad del funcionamiento del sistema por parte del analista.

Finalmente, se puede afirmar que el éxito de la modelación depende en gran medida, de la calibración, por lo que es conveniente comparar las mediciones de campo con los resultados obtenidos, para hacer los ajustes necesarios.

2.3. PALABRAS CLAVE

- **Sistema de agua potable:** Son todos los componentes que hacen posible el funcionamiento de un abastecimiento de agua, los componentes más característicos en abastecimientos de agua para poblaciones rurales son: la captación, la línea de conducción o impulsión, el reservorio, la red de distribución y las conexiones domiciliarias.
- **Población rural:** Son todos los habitantes que conforman viviendas o familias con ubicación dispersa en una zona rural.
- **Periodo óptimo de diseño:** Es el tiempo en el cual la capacidad de un componente del sistema de agua para consumo humano o saneamiento

cubre la demanda proyectada, minimizando el valor actual de costos de inversión, operación y mantenimiento, durante el horizonte de evaluación de un proyecto ^[16].

- **Dotación de agua:** Es el consumo diario “per cápita” o dotación es la cantidad media de agua utilizada diariamente por un habitante, que generalmente se expresa en litros. Este consumo sólo puede determinarse en base a estadísticas permanentes ^[12].
- **Consumo Doméstico o residencial:** A esta categoría pertenecen aquellos suscriptores que utilizan el servicio exclusivamente para uso doméstico en la vivienda ^[15].
- **Variaciones de consumo:** son las fluctuaciones de la demanda, ya que los requerimientos de agua para un sistema de distribución no son constantes durante el año, ni durante el día, sino que la demanda varía en forma diaria y horaria. Así pues tenemos a los coeficientes de variación que se derivan de la fluctuación de la demanda debido a los días laborables y otras actividades ^[7].
- **Coefficiente de variación diaria K_1 :** La demanda diaria de agua en una comunidad variará durante el año debido al patrón estacional del clima, la situación de trabajo (por ejemplo, época de cosecha) y a otros factores, tales como ocasiones culturales o religiosas ^[5].
- **Coefficiente de variación horaria K_2 :** La variación horaria en la demanda de agua durante el día frecuentemente es mucho mayor. Generalmente, se puede observar dos periodos pico, uno en la mañana y otro en la tarde. Para un área particular de distribución, este factor depende del tamaño y carácter de la comunidad servida. El factor horario de pico (K_2) tiende a ser elevado para poblados rurales pequeños, por lo general, es menor para comunidades más grandes y pequeños pueblos. En lugares donde son comunes los tanques en los techos y otros recipientes de almacenamiento de agua, se reducirá en mucho el K_2 ^[5].
- **Caudal medio diario promedio anual:** Es el consumo promedio diario de una población, obtenido de un año de registros ^[15].
- **Caudal máximo diario:** Es la demanda máxima que se presenta en un día del año, es decir representa el día de mayor consumo del año ^[15].

- **Caudal máximo horario:** Es la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo ^[15].
- **Volumen de regulación del reservorio:** Es el volumen agua que regula la variación de la demanda de una población durante el día de máximo consumo o mínimamente durante el día de consumo medio promedio anual. Las variaciones de demanda son absorbidas por el reservorio de regulación y por la capacidad de las redes de distribución, notándose claramente que una de las funciones principales del reservorio es la regulación de la demanda ^[14].
- **Caudales en la red de distribución:** Son los caudales que se distribuyen en la red por cada usuario o vivienda, en función al caudal máximo horario.
- **Velocidad de flujo en la red de distribución:** Son las velocidades del flujo que se presentan en las tuberías de la red. En una red de distribución que opera con gastos variables durante el día, no es posible lograr en todos los tramos y en todos los momentos una velocidad mínima, y esa condición no es obligatoria. Se tratará de cumplirla en lo posible para las tuberías de mayor diámetro, de tal manera que para las condiciones de demanda máxima horaria la velocidad mínima sea igual o mayor a 0.3 m/s ^[8].

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

A. Instrumentos

- **Medidor de agua doméstico modelo SC100**, Es un medidor de chorro único, posee un registrador cámara extra seca que contiene ocho dígitos de los cuales cinco registran metros cúbicos y tres registran unidades de litros junto con un puntero que funciona como elemento de control siendo este la escala de menor medida. Permiten realizar la micro medición de agua o registros de consumo, proporcionando el volumen consumido en intervalos que se lo requiera mediante una lectura ocular directa.

Las especificaciones técnicas más importantes son:

- Marca : Elster
- Modelo : SC100
- Certificado de Aprobación de Modelo N° : ISO 4064
- Fecha de Aprobación de certificado : 09/08/2001
- Vigencia del Certificado : Vigente
- Temperatura Mín. / Máx. : 4 C / 40 C
- Lectura máxima [dígitos (m³)] : 99,999
- Presión Nominal : 10 BAR – 16 BAR
- Diámetro nominal (mm) : 15mm
- Clase metrológica : R80
- Caudal de sobrecarga (l/h) : 3125
- Caudal permanente (l/h) : 2500



Fotografía 1: Medidor de agua doméstico modelo SC100, a utilizar en el estudio

- **Instrumentos manuales para aforo de agua por el método volumétrico**, como cronometro y recipientes con capacidad marcada para recojo de agua.
- **Formatos prediseñados** (Formatos 1, Formatos 2 y Formatos 3) de acuerdo con los aspectos e indicadores a evaluar para la recolección y procesamiento de datos.
- **Herramientas por computadora (Softwares)**, para la fase de gabinete como: “Google Earth Pro”, “Bentley WaterCAD V8i”, “Microsoft Excel 2013”, “Civil 3D 2015”.

B. Ubicación

El Centro Poblado de Rosaspampa es uno de los centros poblados del distrito de Chalamarca de la provincia de Chota en la región Cajamarca. El centro poblado situado aproximadamente a 2,600 msnm; 04 Km al norte de la capital distrital Chalamarca y a 39 km al este de la provincia de ciudad de Chota.

Mapa 1: Ubicación del departamento de Cajamarca



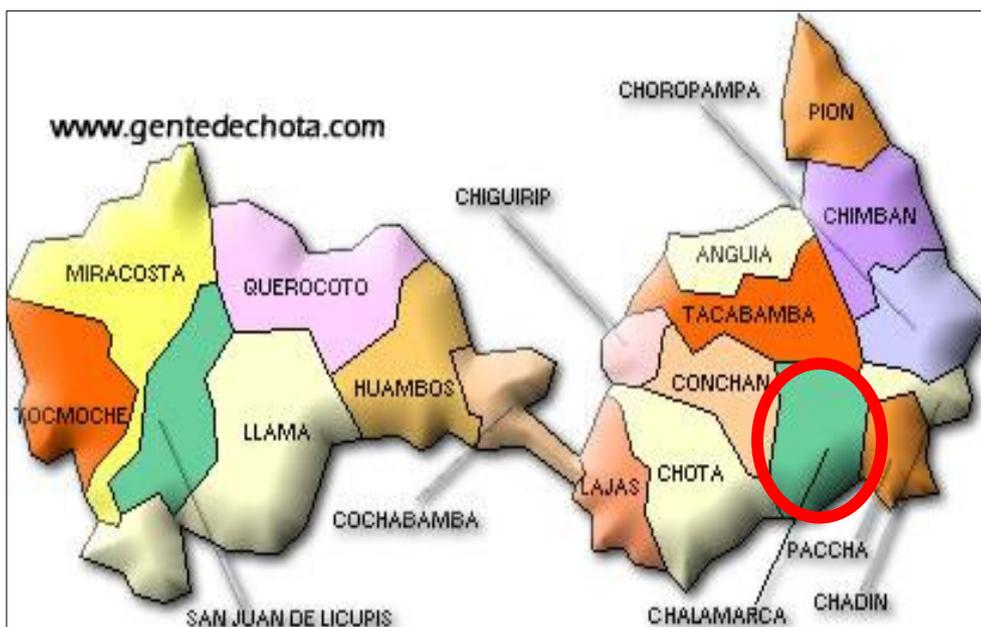
Fuente: Mapa Político del Perú

Mapa 2: Ubicación de la provincia de Chota



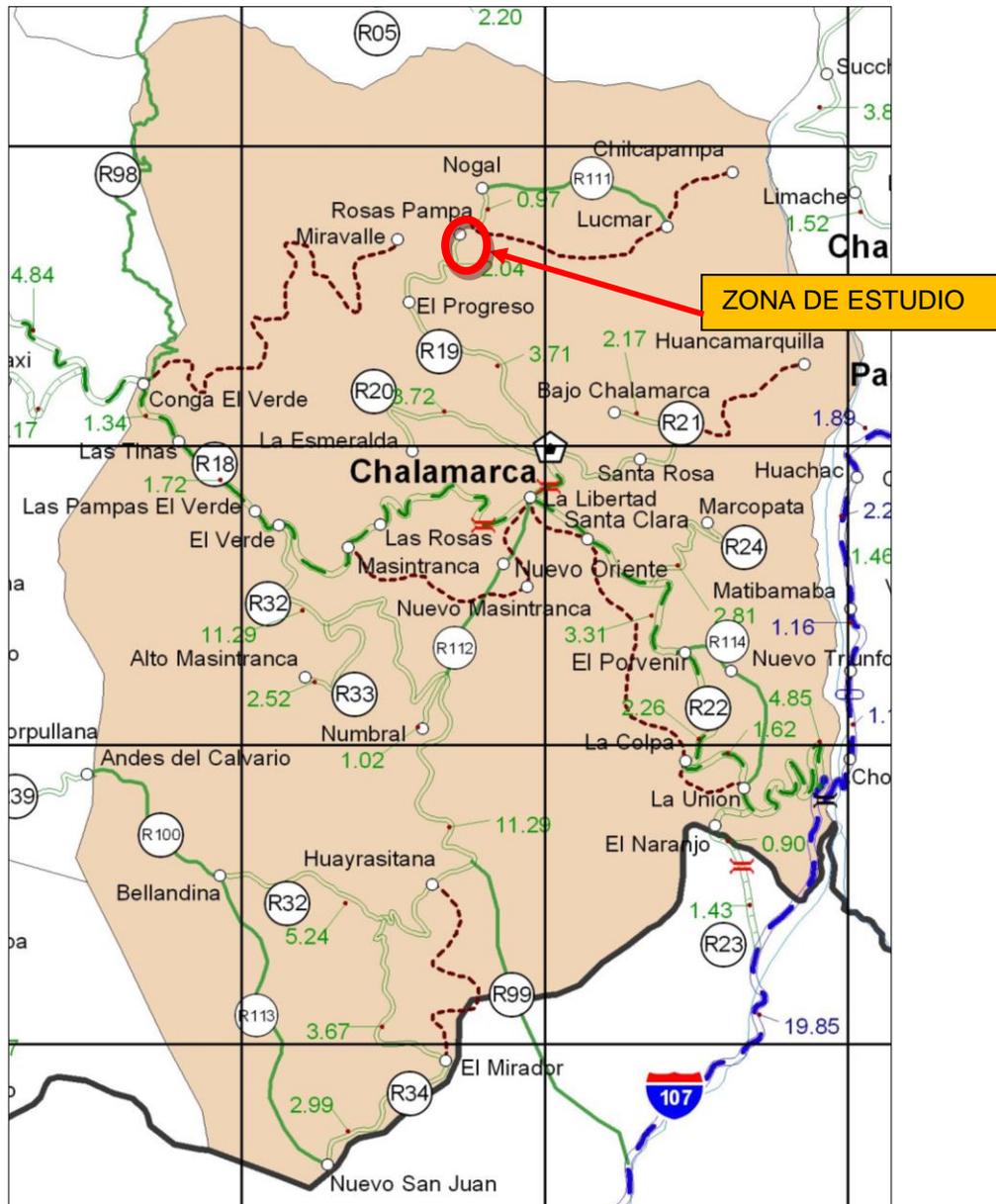
Fuente: Mapas Políticos del Departamento de Cajamarca

Mapa 3: Ubicación del distrito Chalamarca



Fuente: Mapas Políticos de la provincia Chota

Mapa 4: Ubicación del C.P. Rosaspampa



Fuente: PROVÍAS/MTC

C. Servicios públicos

a) Salud

La infraestructura de salud del centro poblado Rosaspampa es moderna y adecuada que comprende al Puesto de Salud del mismo nombre, establecimiento perteneciente a la Dirección de Salud - DISA Chota, y que presta servicios de atención primaria y de primeros auxilios a la población rural del C.P. Rosaspampa.

b) Transporte terrestre

- El centro poblado Rosaspampa se encuentra a 04 km al norte de la capital distrital Chalamarca a través de un camino vecinal afirmado de sur a norte, a unos 15 minutos en moto, camioneta o similar.
- Asimismo, el distrito Chalamarca se encuentra a 39 km al este de la capital provincial Chota, a través de carretera afirmada, aproximadamente a 1.50 horas en camioneta, combi o similar.
- En efecto la ciudad de Chota se encuentra a 150 km al norte de Cajamarca a través de la Carretera Longitudinal de la Sierra (PE - 3N) de sur a norte, bordeando las localidades de Hualgayoc y Bambamarca, a unas cinco horas en automóvil por carretera asfaltada y afirmada en algunos tramos.

c) Agua y saneamiento

El centro poblado Rosaspampa, en particular el caserío Rosaspampa cuenta con servicios de agua y saneamiento básico con letrina compostera (letrina ecológica), desde el presente año 2018; cierta cantidad de viviendas cuentan con saneamiento con arrastre hidráulico porque están sectorizadas con otro sistema de abastecimiento de agua, desde un tiempo más anterior aproximadamente el año 2016.

D. Población de estudio

- El centro poblado Rosaspampa es considerado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática como “centro poblado rural” por tener población dispersa; para el presente trabajo de investigación la población real está dada por todo los habitantes afiliados al Puesto de Salud Rosaspampa, al respecto La Dirección de Estadística e Informática de la Dirección de Salud - DISA Chota proporciona datos de población por cada Puesto de Salud (centro poblado), MICRORED (distrito) y RED (provincia), como se resume en la tabla siguiente y se detalla en el Anexo 1.

Tabla 14: Resumen de Población C.P. Rosaspampa, distrito Chalamarca - Chota

Año	Población total Puesto de Salud Rosaspampa	Población total MICRORED distrito Chalamarca
2015	585	11,222
2016	587	11,252
2017	541	11,138
2018	513	11,080

Fuente: Dirección de Estadística e Informática de la Dirección de Salud - DISA Chota

- Donde la **población** en el año 2016 (elección de la muestra a la presentación del Plan de Tesis) fue de 587 habitantes, **equivalente a unas 118 viviendas**, para una densidad promedio de 5 personas por vivienda (referida al estudio de demanda de agua).

E. Muestra

La muestra probabilística se determina por la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 (p) (q) (N)}{E^2 (N-1) + Z^2 (p) (q)} ; \text{ en donde}$$

Z = 1.96 (nivel de confianza 95%)

p = Probabilidad a favor = 60%

q = Probabilidad en contra = 40%

N = Población = 118 viviendas

E = Error de estimación = 5%

n = tamaño de la muestra = ?

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.6) (0.40) (118)}{(0.05)^2 (118-1) + (1.96)^2 (0.24)}$$

n = 90 viviendas.

La muestra probabilística calculada fue exagerada para poder realizar el estudio de demanda de agua para consumo doméstico en poblaciones rurales, en un periodo razonable y con medios económicos propios; por lo que para facilidad del presente trabajo de investigación se optó por una **muestra no probabilística** recomendada del 30% de la población, resultando **35 viviendas**.

La unidad de análisis será las poblaciones rurales (viviendas -familias habitantes).

3.2. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO

A. Tipo

El presente trabajo de investigación (tesis) reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón, que se utilizarán conocimientos de la Hidráulica, a fin de aplicarla en un sistema de agua potable rural

B. Nivel

De acuerdo a la naturaleza del trabajo de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio descriptivo y explicativo; ya que el trabajo está dirigido a determinar las características propias del objeto o fenómeno en estudio.

C. Diseño

En trabajo de investigación que se propone corresponde al de una investigación por objetivos.

D. Método

Se emplea la metodología de investigación científica basada en el procedimiento inductivo.

- Se ha considerado las siguientes **etapas**: Observación (todo problema de investigación nace de la observación), Planteamiento y formulación del problema, Formulación de objetivos, Revisión de bases teóricas, Desarrollo de objetivos (metodología, recolección de datos y procesamiento de datos), Resultados y discusión (se realiza la interpretación de resultados), Conclusiones y recomendaciones
- Las teorías para el **estudio de demanda de agua van desde técnicas directas de campo, basada en observaciones**, hasta técnicas probabilísticas con análisis estadístico como se describe en las bases teóricas del capítulo correspondiente.
- **En este trabajo se emplea una metodología con técnicas directas en campo** para la recolección de información en el centro poblado Rosaspampa, distrito Chalamarca – Chota – Cajamarca, **siendo indispensable realizar un estudio de demanda de agua para consumo doméstico**, cuyas técnicas **se basan en: La micro medición de variaciones horarias de consumo** utilizando medidores domésticos de agua **(solo para efectos del estudio sin que ello restrinja el uso real del**

agua), en aforos de caudal de aparatos sanitarios por el método volumétrico, en un nuevo criterio propuesto para el cálculo de caudales en la red de distribución y en la aplicación de cuestionarios verbales sobre costumbres y uso del agua, información que se anota en formatos prediseñados de acuerdo con los aspectos e indicadores a evaluar para la recolección y procesamiento de datos.

- Las tareas para llevar a cabo un estudio de demanda de agua para consumo doméstico en poblaciones rurales, son un tanto limitadas, por los instrumentos que se deben instalar, por el acceso diario a las viviendas de la zona rural durante el periodo de estudio y por los recursos humanos y económicos propios; lo que no pasa en poblaciones urbanas donde existe una empresa prestadora de servicios básicos. Sin embargo, el presente trabajo de investigación se ha llevado a cabo gracias a que mis familiares directos radican en la zona de estudio, hecho que ha facilitado mucho el trabajo.
- Si bien el periodo de estudio según las bases teóricas debería ser por 01 año, este requiere de la colaboración y/o aporte de alguna Entidad o Institución públicas o privadas; es así que para facilidad del presente trabajo de investigación el asesor de tesis recomienda un periodo de 01 mes en estiaje para la zona de estudio, este mes correspondió a noviembre de 2016 (luego de haberse presentado el Plan de Tesis), mes que tuvo menos precipitaciones pluviales (según el Anexo 2) y de 03 días por semana (un día laborable cualquiera más sábado y domingo), ello en concordancia con las condiciones más influyentes para el tipo uso del agua en la en la zona rural, como son el clima y costumbres de la población.

E. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Var. Inde_ pendientes	Recolección de datos		
	Fuente de los datos	Técnica	Instrumento
De la hipótesis general: Sistema de agua potable para	Estudio de demanda de agua para consumo doméstico en viviendas con servicio de agua y saneamiento con arrastre hidráulico del	Análisis y procesamiento de datos de las variaciones horarias de consumo y además de aforos volumétricos realizados para determinar caudales unitarios de descarga mínima en aparatos sanitarios.	Formatos prediseñados para el estudio de demanda de agua. Encuestas verbales sobre

localidad rural.	C.P. Rosaspampa, viviendas elegidas al azar hasta completar el tamaño de la muestra.	Con los resultados, definir la dotación, los coeficientes de las variaciones de consumo, en consecuencia los caudales de diseño, y el volumen de regulación por el método más apropiado en concordancia con los coeficientes empíricos debido a la duración de actividades que se presentan en zonas rurales. Finalmente verificarse el funcionamiento del sistema a través del modelamiento hidráulico, para fijar el rango de velocidades en la red de distribución.	costumbres del uso de agua, etc. Softwares para la fase de gabinete como: "Google Earth Pro", "WaterCAD V8i", "Microsoft Excel 2013", "Civil 3D 2015".
De las hipótesis específicas: Dotación y variaciones de consumo.	Micro mediciones de agua (aforos de agua) realizadas en la localidad Rosaspampa, cuyos resultados obtenidos determinan las variaciones de consumo, la dotación, caudales en la red de distribución, y en consecuencia se podrá determinar los caudales de diseño, el volumen de regulación y el rango las velocidades en la red de distribución.	Instalación de medidores domésticos, lectura ocular de variaciones de consumo hora a hora y apunte de datos en formatos apropiados para estudio de demanda de agua, lecturas proporcionadas por medidores de agua domésticos. Para facilidad del presente trabajo las lecturas corresponde a 01 mes en periodo de estiaje y de 03 días por semana (un día laborable cualquiera más sábado y domingo), en concordancia con las costumbre de consumo de agua en una zona rural.	Medidores de agua domésticos. Instrumento manuales para aforo de agua por el método volumétrico. Softwares para la fase de gabinete como: "Google Earth Pro", "Bentley WaterCAD V8i", "Microsoft Excel 2013", "Civil 3D 2015".

F. Formatos para el estudio de demanda de agua para consumo doméstico

Se desarrollaron por fuente propia para la recolección de información necesaria y procesamiento de la misma, estos formatos se describen y se adjuntan a continuación:

Formato 1: "Lectura de variaciones horarias de consumo en litros"

Contiene datos del instrumento o equipo de medición como, el número de orden que identifica a cada vivienda, tipo, marca y serie del medidor, datos personales del representante de la vivienda, número de personas (habitantes) por vivienda, tipo de consumo de agua, tipo de disposición de

excretas (saneamiento), ubicación y periodo de recolección de consumo de agua hora a hora, todo ello en cada vivienda.

Formato 2: “Resumen de consumo por vivienda en litros”

Contiene toda la información del Formato 1, excepto que, en vez del periodo de recolección de datos, el Formato 2 procesa la información por cada vivienda, y resume el consumo hora a hora, el consumo diario, asimismo presenta automáticamente el cálculo del consumo promedio diario, la dotación y los coeficientes de variación de consumo K_1 y K_2 .

Formato 3: “Resumen de consumo acumulado en litros”

Contiene toda la información del Formato 2, pero de modo acumulativo de vivienda en vivienda hasta completar con el tamaño de la muestra haciendo un solo sistema, *y en el orden de mayor a menor dotación con el fin de obtener consumos bien distribuidos*; así acumula las personas por vivienda, consumo horario, consumo diario, cálculo del consumo promedio diario, la dotación y los coeficientes de variación de consumo K_1 y K_2 .

G. Control de calidad de datos de campo

- En el caso del estudio de demanda de agua, el control de calidad de los datos se basa en la lectura directa de los medidores de agua domésticos, cuya confiabilidad de los mismos se comprueba aforando cierto volumen de agua en cualquier aparato sanitario y se lo compara con la lectura que muestra el medidor de agua en ese instante.
- Otros datos como del uso de agua, son proporcionados por el usuario y/o representante de la familia, uso que para el caso es del tipo doméstico y depende de las costumbres de la población; y que complementada con la información técnica más los datos tomados en campo, permiten conocer la situación de la demanda de agua para consumo en poblaciones rurales.

H. Tratamiento y procesamiento de datos

- Para el proceso, análisis e interpretación de datos se usa el criterio profesional de acuerdo a los antecedentes y bases teóricas y los datos obtenidos en campo; los cálculos para el estudio de demanda de agua y todo los resultados obtenidos de él se realiza en el software Microsoft Office

Excel 2013; los cálculos de rango de velocidades se realiza con ayuda de los softwares Google Earth Pro, Civil 3D 2015 y WaterCAD V8i.

- **Los lineamientos para definir bases de diseño** en sistemas de agua potable para poblaciones rurales de nuestra región, **como son:** la dotación, coeficientes de variaciones de consumo en consecuencia estimación de factores para los caudales de diseño y el factor del volumen de regulación del reservorio, **se obtienen a partir del estudio de demanda de agua basado en micro mediciones de consumo, en aforos de caudal en aparatos sanitarios y en un criterio propuesto para el cálculo de caudales en la red de distribución;** por otro lado **el rango de velocidades en la red de distribución se obtiene mediante un análisis hidráulico en periodo extendido-EPS,** procesando todo los resultados anteriores.

a) Del Estudio de demanda de agua

Su desarrollo obedece al **primer objetivo específico** del este trabajo de investigación, cuyo procedimiento, de datos se presentan a continuación:

- Respecto a **la micro medición de variaciones horarias de consumo de agua, primero se han adquirido medidores de agua domésticos,** los mismos que permiten realizar aforos de agua, proporcionando el volumen consumido en intervalos que se lo requiera mediante una lectura ocular in situ.
- **Luego estos medidores se han instalado aleatoriamente y por facilidad de acceso en 10 de 35 viviendas** que contempla la muestra, para el resto de la muestra el estudio (25 viviendas) se determina mediante un nuevo criterio propuesto denominado “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”, el cual determina los caudales en la red de distribución y que se ajusta a los resultados del estudio de demanda basado en la micro medición de consumos con los medidores domésticos de agua. Cabe precisar que para la población en estudio, **el uso de agua es del tipo** doméstico con saneamiento de arrastre hidráulico.

Las evidencias de la instalación de medidores se aprecian en el **Panel Fotográfico (Anexo 3).**

- **Finalmente** con personal calificado **se hacen lecturas de consumo hora a hora en los medidores de agua domésticos**, para así obtener las variaciones horarias de consumo. Cabe resaltar que **La micro medición de variaciones horarias de consumo (es solo para efectos del estudio sin que ello restrinja el uso real del agua)**.
- **Desarrollo del Formato 1: “Lectura de variaciones horarias de consumo en litros”**. Presenta la información recogida por vivienda tal como se describió en el literal F de este Sub Capítulo- Metodología y Procedimiento.
Los resultados de este “Formato 1” por cada vivienda, en lo que respecta a 10 de 35 viviendas con estudio basado en la micro medición de consumo con medidores domésticos de agua, se presentan en el Anexo 4, aunque anticipadamente para la primera vivienda se presenta en el Capítulo - Resultados y Discusión.
Las evidencias del desarrollo de este formato se muestran en el Panel Fotográfico (Anexo 3).
- **Desarrollo del Formato 2: “Resumen de consumo por vivienda en litros”**. Este formato procesa la información por cada vivienda, tal como se describe en el literal F de este Sub Capítulo- Metodología y Procedimiento; **sus cálculos se obtienen de la siguiente manera:**
Consumo hora a hora.- Se obtiene de la diferencia de lecturas de consumo entre una hora y la siguiente, a partir de las lecturas de consumo (en litros) anotadas en el Formato 1.
Consumo diario.- Proviene de la sumatoria de consumos de toda las horas durante cada día, en unidades litros/día.
Consumo promedio diario (Qmd).- Se ha calculado promediando los consumos diarios durante el periodo de estudio, es decir representa el *consumo medio diario promedio anual (Qmd)*, en unidades litros/día.
Consumo promedio horario (Qmh).- Se ha calculado promediando los consumos horarios durante el periodo de estudio, es decir representa el *consumo medio horario promedio anual (Qmh)*, en unidades litros/hora.

Dotación promedio.- Resulta de la razón entre el consumo promedio diario (Q_{md}) y el número de personas de cada vivienda, en unidades litros/persona/día.

Coefficiente de variación de consumo máximo diario (K_1).- Se obtiene de la **razón entre** el consumo máximo diario ($Q_{m\acute{a}x.d}$) y el consumo promedio diario (Q_{md}) durante el periodo de estudio (01 mes), por lo que corresponde a ser un K_1 mensual.

Coefficiente de variación de consumo máximo horario (K_2).- Se obtiene de la **razón entre** el consumo máximo horario ($Q_{m\acute{a}x.h}$) y el consumo promedio horario (Q_{mh}) durante el periodo de estudio (01 mes), por lo que corresponde a ser un K_2 mensual.

Los resultados de este “Formato 2” por cada vivienda, en lo que respecta a 10 de 35 viviendas con estudio basado en la micro medición de consumo con medidores domésticos de agua, se presentan en el Anexo 4, sin embargo anticipadamente para la primera vivienda se presenta en el Capítulo - Resultados y Discusión.

- **Desarrollo del Formato 3: “Resumen de consumo acumulado en litros”.** Este formato procesa la información de modo acumulativo de vivienda en vivienda hasta completar con el tamaño de la muestra haciendo un solo sistema y *en el orden de mayor a menor dotación con el fin de obtener consumos bien distribuidos*, tal como se describe en el literal F de este Sub Capítulo - Metodología y Procedimiento; **sus cálculos se obtienen del siguiente modo:**

Consumo hora a hora.- Se obtiene mediante la acumulación de resultados (en litros) del Formato 2, de vivienda en vivienda es decir de una en una.

Consumo diario.- Resulta de la sumatoria de consumos de toda las horas durante cada día, en unidades litros/día.

Consumo promedio diario (Q_{md}).- Su procedimiento de cálculo es promediando los consumos diarios durante el periodo de estudio, es decir representa el *consumo medio diario promedio anual (Q_{md})*, en unidades litros/día.

Consumo promedio horario (Qmh).- Se obtiene al promediar los consumos horarios durante el periodo de estudio, es decir representa el *consumo medio horario promedio anual (Qmh)*, en unidades litros/hora.

Dotación promedio.- Resulta de la razón entre el consumo promedio diario (Qmd) y el número de personas acumuladas, en unidades litros/persona/día.

Coefficiente de variación de consumo máximo diario (K₁).- Se obtiene de la **razón entre** el consumo máximo diario (**Qmáx.d**) y el consumo promedio diario (**Qmd**) durante el periodo de estudio (01 mes), por lo que corresponde a ser un K₁ mensual.

Coefficiente de variación de consumo máximo horario (K₂).- Se obtiene de la **razón entre** el consumo máximo horario (**Qmáx.h**) y el consumo promedio horario (**Qmh**) durante el periodo de estudio (01 mes), por lo que corresponde a ser un K₂ mensual; sin embargo por razones de análisis y discusión de resultados, también se ha determinado un K₂ en función al Qmh del día de máximo consumo.

Los resultados del procesamiento del "Formato 3", de modo acumulativo de vivienda en vivienda (en el orden ya descrito) para las 10 de 35 viviendas con estudio basado en la micro medición de consumo con medidores domésticos de agua, se presentan en el Anexo 4, no obstante anticipadamente para el cumulado de 10 viviendas y el resumen de parámetros básicos de diseño obtenidos se presentan en la Tabla 15 del Capítulo - Resultados y Discusión.

Además cabe precisar que, la **densidad promedio** se obtiene al dividir el número de personas acumuladas por el número de viviendas,

b) De Los Aforos de caudal por el método volumétrico

- Su cálculo obedece al **segundo objetivo específico** del presente trabajo, estos **aforos se realizan con el afán de obtener caudales unitarios, que al ser empleados por un nuevo Criterio que ajusta el cálculo de caudales en la red de distribución** como es el caudal máximo probable igual al máximo horario, **pueden complementar el estudio de demanda de agua**. Por otro lado **si estos aforos de caudal unitario se complementa con dato del tipo de uso de agua**

(uso que depende del clima y las costumbres de la población en estudio) en el día de máximo consumo, **entonces también se puede calcular el consumo de agua diario por persona (dotación)**, y contrastar dicho resultado con el obtenido a partir de la micro medición de consumos con los medidores domésticos de agua.

- **Los aforos** que dependen de la presión hidráulica disponible y de las variaciones horarias de consumo, **se determinan fácilmente por el método volumétrico, en el grifo de pileta y demás aparatos sanitarios de las viviendas**, en las horas punta (hora de máximo consumo y en uso simultaneo) con el ánimo de obtener resultados más críticos, los que se presentan en la Tabla 16 del Capítulo - Resultados y Discusión.
- Finalmente a partir de, **los resultados de aforos de caudal unitario, de las observaciones directas en campo y aplicación de cuestionarios verbales sobre costumbres y uso del agua** se obtiene datos como, **duración y volumen de agua utilizados en las actividades domésticas de la población**; para luego proceder al **cálculo de la dotación de modo alternativo** al estudio de demanda de agua basado en micro mediciones de consumo de agua. Los resultados de dicho cálculo se presentan en la Tabla 17 del Capítulo - Resultados y Discusión.
- Asimismo las evidencias de aforos realizados y actividades de la población se pueden ver el **Panel Fotográfico del Anexo 3**.

c) Del Criterio para el cálculo de caudales en la red de distribución.

Su planteamiento obedece al **tercer objetivo específico** del presente trabajo de investigación, para poder desarrollar dicho criterio es preciso basarse en los dos primeros Antecedentes Teóricos Internacionales descritos en el literal A del numeral 2.1., donde una de sus conclusiones manifiesta que, los métodos que presentan un mayor acercamiento al caudal aforado (medido) en las edificaciones residenciales, son en su orden el método Racional, Hunter Modificado y Hunter Original. **En tanto que la población rural del presente estudio cuenta con sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento con arrastre hidráulico,**

condiciones que en cierto modo lo asemejan a una población residencial urbana, respecto a su consumo doméstico.

En efecto, partiendo del Método Racional o Español que ajusta el cálculo de caudales en la red de distribución, según lo descrito en el inciso a) del literal C del numeral 2.2. de las Bases Teóricas, más los resultados de aforos de caudal unitario realizados (Tabla 16) y en concordancia con el estudio de demanda de agua basado en las micro mediciones reales de consumo con medidores domésticos de agua (Tabla 15), se puede **plantear un nuevo criterio para el cálculo de caudales en la red de distribución como es el caudal máximo probable o máximo horario**, al que se **denominará “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”**, criterio que **constituye una buena alternativa que complementa al estudio de demanda de agua.**

El procedimiento de cálculo es bajo el modo y condiciones siguientes:

- **El coeficiente de simultaneidad por aparatos sanitarios**, el método racional lo denota como K_1 y se obtiene de ecuación (17); y en este caso para evitar confusiones con el coeficiente de variación diaria de consumo, **se denotará como R_1** , es decir:

$$R_1 = \frac{1}{\sqrt{(n-1)}} \quad (23)$$

Puede deducirse que, el coeficiente de simultaneidad R_1 para una vivienda resulta de la razón entre el caudal máximo probable que efectivamente se presenta debido al uso real de los aparatos sanitarios y el caudal máximo posible al usarse todo los aparatos sanitarios en simultáneo.

- **“n”** es el número de aparatos sanitarios instalados en una vivienda, así tenemos que $n = 4$, es decir cada vivienda cuenta con unidad básica de saneamiento con arrastre hidráulico, conformada por 1 grifo de pileta o lavadero multiusos, 1 lavatorio de manos, 1 inodoro tanque bajo y 1 ducha simple.
- **El coeficiente de simultaneidad para conjunto de viviendas de similares características**, el método racional lo denota como K_2 y se obtiene de ecuación (19); pero en este caso para evitar confusiones con

el coeficiente de variación horaria de consumo, **se denotará como R_2** , es decir:

$$R_2 = \frac{(N + 19)}{10 * (N + 1)} \quad (24)$$

Donde, N es el número de viviendas acumuladas; en este caso tenemos que **N va desde 1 hasta 35 según el tamaño de la muestra**, pero se puede proyectar a más viviendas siempre que el tipo de uso del agua sea de similares condiciones.

- **El caudal instantáneo máximo posible ($q_{\text{máx}}$)** viene a ser el resultado de la sumatoria de caudales unitarios al usarse todo los aparatos sanitarios en simultáneo; **sin embargo para el presente estudio es aquí donde radica la diferencia entre el Método Racional o Español y el nuevo criterio propuesto “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”**, este último adopta solo a 02 aparatos en uso simultáneo y en la hora de máximo consumo, definiendo la siguiente combinación: el grifo de la pileta (como aparato más usual de mayor consumo) junto con, o el lavatorio o el inodoro o la ducha; ahora el $q_{\text{máx}}$ en la hora punta o de máximo consumo corresponde a los aforos de la Tabla 16, precisando que se ha reducido en dos centésimas a las cifras decimales de los valores aforados, así para dicha combinación **en una vivienda tenemos $q_{\text{máx}} = 0.10 + 0.06 = 0.16$ l/s**, y conforme aumenta el número de viviendas el $q_{\text{máx}}$ va acumulándose; **este nuevo criterio se justifica en que sus resultados se asemejan a los del estudio de demanda de agua real medido, además obedece a las costumbres de uso del agua en poblaciones rurales**, donde muy pocas veces usan los aparatos sanitarios en simultaneo, es decir, casi nunca utilizan el urinario o inodoro para orinar sino que lo hacen al aire libre, en algunas ocasiones no utilizan el inodoro para defecar puesto que se encuentran fuera de casa (en la chacra, en los animales, etc.), se duchan entre 1 y 2 veces por semana y rara vez por 3 veces.
- **El caudal instantáneo máximo probable (Q_p)** viene a ser el caudal punta o máximo probable que efectivamente se presenta debido al uso real de los aparatos sanitarios, este **Q_p se comporta como caudal unitario ($Q_{\text{unit.}}$) si corresponde a una vivienda y como caudal**

máximo horario (Q_{máx.h}) en un ramal de la red de distribución que corresponde a una o más viviendas. Se aplica en **conjuntos de viviendas de similares características** y se obtiene a partir de la sumatoria del q_{máx} en cada ramal o tramo según el número de viviendas afectado por los factores ya conocidos R₁ y R₂, mediante la siguiente ecuación en unidades l/s:

$$Q_p = R_1 * R_2 * q_{máx} \quad (25)$$

El **método planteado** se aplica para 35 viviendas según el tamaño de la muestra, sin embargo se **puede proyectarse a más viviendas** siempre que el tipo de uso del agua de la población sea de similares condiciones a la de estudio, dichas **condiciones más influyentes son el clima y las costumbres de la población.**

Para efectos de comparación se determina también los caudales en la red de distribución por **el Método de “La Simultaneidad”**, ya que lo recomiendan algunas bibliografías tanto nacionales como internacionales (ver Bases Teóricas en numeral 2.2 del capítulo II), con la excepción que este método señala que solo debe ser aplicado hasta máximo 30 conexiones (viviendas). Para tal efecto se emplea las ecuaciones (15) y (16)

d) De la Estimación del coeficiente de variación horaria de consumo K₂

Su determinación obedece al **cuarto objetivo específico** del presente trabajo de investigación; se obtiene a partir del nuevo criterio propuesto para el cálculo de caudales en la red de distribución (Tabla 18) y de los resultados del estudio de demanda de agua de modo acumulativo basado en la micro medición de consumos (Tabla 15); con los resultados de dichas tablas se calcula el Q_{md} y en consecuencia se estima el K₂ en la Tabla 20, de la siguiente manera:

Parte I: Del “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”, los indicadores como el número de viviendas y el caudal máximo probable igual al máximo horario, vienen dados por los mismos resultados de la Tabla 18, según lo ya descrito en el inciso anterior c) del literal H y numeral 3.2. del presente capítulo.

Parte II: Del Estudio de demanda de agua, son los resultados resumen de parámetros de diseño de la Tabla 15, obtenidos del estudio de demanda de agua de modo acumulativo y basado en la micro medición de consumos con medidores domésticos de agua, según lo ya descrito en el inciso a) del literal H y numeral 3.2. del presente capítulo.

Parte III: Estimaciones a partir de la Parte I y la Parte II.

- **El caudal medio diario promedio anual Qmd**, para las 10 primeras viviendas, es un valor real tomado de los resultados del estudio de demanda de agua basado en la micro medición de consumos (Tabla 15); para el resto de la muestra de 11 a 35 viviendas, el Qmd es calculado en función del n° de viviendas, la dotación promedio y densidad promedio proyectadas, aunque se puede proyectar a más viviendas siempre que el tipo de uso del agua sea de similares condiciones, mediante la ecuación (4) la que a su vez puede ser desagregada en la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{(N^{\circ} \text{ viviendas})(\text{Densidad promedio})(\text{Dotación promedio})}{86,400} \quad (26)$$

Donde, **La dotación promedio proyectada** de 11 a 35 viviendas se considera como la dotación promedio de la muestra total acumulada en un solo sistema del estudio de demanda de agua (Tabla 15), siendo esta igual a 75.45 l/per-día, pero por condiciones de seguridad y aproximación se adopta 80 l/per-día y se puede proyectar a más viviendas siempre que el tipo de uso del agua sea de similares condiciones. **La densidad promedio proyectada** de 11 a 35 viviendas es considerada como la densidad promedio de la muestra total acumulada en un solo sistema del estudio de demanda de agua (Tabla 15), siendo esta última igual 4.2 personas por vivienda (per/viv).

- **Estimación del coeficiente de variación horaria de consumo K₂**, es estimado a partir del caudal máximo probable Q_p = caudal máximo horario Q_{máx.h} obtenido probabilísticamente en la Parte I, y a partir del caudal medio diario promedio anual Q_{md} ya calculado anteriormente; así el K₂ se estima mediante la ecuación (3).

e) Del Coeficiente del volumen de regulación del reservorio

Su desarrollo obedece al **quinto objetivo específico** del presente trabajo, para poder determinarlo es necesario seguir la metodología de las Bases Teóricas, según lo descrito en el inciso a) del literal B del numeral 2.2., donde la mayoría de bibliografías consideran que es indispensable contar con la ley de variación horaria de la demanda y así obtenerse mediante el método gráfico (basado en la curva de consumo o curva de masa) o el método analítico; de otro lado también se puede aplicar los coeficientes empíricos. En efecto para el presente trabajo de investigación **se aplicarán los dos métodos antes indicados además de los coeficientes empíricos.**

Cabe precisar que se trata de un abastecimiento continuo por gravedad; además se incluye pérdidas de agua a nivel de viviendas, ya que el estudio es realizado directamente en las viviendas; en tanto que las pérdidas en la red de distribución por fugas en tuberías averiadas y/o reboses no controlados se consideran mínimas, por ser una red pequeña.

- **Volumen de regulación por Coeficientes Empíricos**

El volumen de regulación del reservorio por coeficientes empíricos, se aplica cuando no se cuenta con información de la demanda horaria, sin embargo en este caso se cuenta con dicha información; pero aun así puede optarse por el coeficiente empírico.

En ese sentido el coeficiente empírico que determina la capacidad o volumen de regulación del reservorio, en este caso particular **se basa en la ley de variaciones horarias de consumo o patrón de consumo** del estudio de demanda de agua (a partir de la micro medición de consumos), coeficiente que concuerda con las costumbres de uso del agua de las poblaciones rurales, ***por lo que dicho coeficiente ya no sería tan empírico sino que tiende a ser racional.***

Por consiguiente **a fin de obtener una ley de demanda horaria promedio en todo el periodo de estudio** (01 mes), los consumos hora a hora se han resumido como si fuese un solo día de consumo para todo el periodo y para 10 de 35 viviendas acumuladas de la muestra, como se aprecia en la Tabla 21 de capítulo siguiente.

Luego en función a dicha ley de demanda o patrón de consumo, se infiere un periodo de no uso del agua de las 21 a las 06 horas (09 horas), no obstante de las 21 a 22 horas y de las 05 a 06 horas los consumos son del 0.19% y 1.02% respectivamente, siendo mínimos por lo que el periodo de almacenamiento equivale a 09 de las 24 horas del día; y por tanto el coeficiente empírico se define como $C = 9/24 = 37.50\%$ del Qmd como mínimo o del Qmáx.d si este fuera menor o igual a caudal de la fuente.

Finalmente con el C determinado, ya se puede calcular el **volumen de regulación** para la muestra total en estudio (35 viviendas), teniendo en cuenta la Tabla 20 con el Qmd o el Qmáx.d si este fuera menor o igual a caudal de la fuente; mediante la ecuación (10).

- **Volumen de regulación por el Método Analítico**

Este método determinará también un coeficiente de regulación para capacidad o volumen de regulación del reservorio, al igual que el método anterior se basa específicamente en el estudio de demanda de agua del presente trabajo de investigación (acumulado total de la muestra).

Así pues aplicando este método se calcula el coeficiente de regulación y a partir de, el cálculo de volumen de regulación en unidades de volumen y su variante en porcentaje para un sistema de abastecimiento continuo (caso del presente estudio) y a la vez cuando se tenga un sistema de abastecimiento discontinuo (por bombeo).

1º.- Cálculo de volumen de regulación por el Método Analítico en volúmenes, con abastecimiento continuo.

Su procedimiento de cálculo es como sigue:

Qe, el caudal de entrega al reservorio corresponde al caudal producción de la fuente y que **mínimamente debe ser igual al Qmd** de la población, no obstante **algunas bibliografías** conforme al marco teórico consideran **el volumen de regulación en base al Qmáx.d**, puesto que el reservorio debe regular la demanda en el día de máximo consumo; en consecuencia **este trabajo de investigación considera al volumen de regulación en base al Qmd como mínimo o al Qmáx.d si este es menor o igual a**

caudal de la fuente, el Q_{md} para un abastecimiento continuo es el mismo en toda hora y para el total de la muestra se extrae de la Tabla 20.

V_e , el volumen de entrega al reservorio en cada hora se obtiene dividiendo el volumen de salida V_s total del día por el periodo de abastecimiento; de otro modo como el abastecimiento es continuo ya se tiene el Q_e definido, entonces V_e simplemente es el volumen entregado en una hora de tiempo ($Q_e * 3,600$).

Ley de demanda horaria, el coeficiente adimensional que representa la ley de variación o demanda horaria en cada uno de los intervalos del día de máximo consumo, se obtiene de la razón entre el volumen horario y el volumen promedio horario (q/q_{med}), en este caso para el estudio de demanda de agua realizado se deduce de la Tabla 21.

Q_s , el caudal de salida del reservorio corresponderá al $Q_{máx.h}$, se obtiene del producto entre el Q_e y el coeficiente de la ley de demanda horaria.

V_s , el volumen de salida del reservorio es simplemente el volumen máximo horario requerido en una hora de tiempo ($Q_s * 3,600$).

$V_e - V_s$, la diferencia entre volúmenes de entrega y salida del reservorio, dicha diferencia refleja el volumen sobrante o faltante en cada hora tras el consumo de la población.

$V_e - V_s$ acumulado, la diferencia acumulada entre volúmenes de entrega y salida del reservorio, dicha diferencia refleja las fluctuaciones del volumen del reservorio en cada hora tras el consumo de la población; así en una hora determinada se presentará un volumen máximo sobrante (*máximo superávit*) y en otra hora un volumen máximo faltante (*máximo déficit*).

$V_{máx}$, el volumen máximo posible que puede acumular el reservorio por hora si se adiciona un volumen igual al máximo déficit, se obtiene sumando el valor absoluto del máximo déficit con cada fluctuación del reservorio por hora ($V_e - V_s$ acumulado).

2º.- Cálculo de volumen de regulación por el Método Analítico en porcentajes, con abastecimiento continuo.

Es una variante del método analítico, y su procedimiento de cálculo es el siguiente:

Qe, el caudal de entrega al reservorio es obtenido del mismo modo que para la variante anterior de método analítico en volúmenes.

Ve, el volumen de entrega al reservorio en cada hora se obtiene dividiendo el volumen de salida V_s total del día por el periodo de abastecimiento, dado que V_s se expresa en unidades porcentuales entonces automáticamente V_e tendrá las mismas unidades.

Ley de demanda horaria en el día de máximo consumo, es obtenida del mismo modo que para la variante anterior del método analítico en volúmenes.

Qs, el caudal de salida del reservorio es obtenido del mismo modo que para la variante anterior de método analítico en volúmenes.

Vs, el volumen de salida del reservorio viene dado por la ley de demanda horaria del día de máximo consumo expresada en porcentaje (coeficiente de la ley de demanda * 100).

Ve - Vs, la diferencia entre volúmenes porcentuales de entrega y salida del reservorio, dicha diferencia refleja el volumen en porcentaje sobrante o faltante en cada hora tras el consumo de la población.

Ve - Vs acumulado, la diferencia acumulada entre volúmenes porcentuales de entrega y salida del reservorio, dicha diferencia refleja las fluctuaciones del volumen del reservorio en porcentaje y en cada hora tras el consumo de la población; así en una hora determinada se presentará un volumen porcentual máximo sobrante (*máximo superávit*) y en otra hora un volumen porcentual máximo faltante (*máximo déficit*).

Vmáx, el volumen en porcentaje máximo posible que puede acumular el reservorio por hora si se adiciona un volumen igual al máximo déficit, se obtiene sumando el valor absoluto del máximo déficit con cada fluctuación del reservorio por hora ($V_e - V_s$ Acumulado).

3º.- Cálculo de volumen de regulación por el Método Analítico en porcentajes, con abastecimiento discontinuo (por bombeo).

Si bien es cierto el presente trabajo de investigación se ha realizado en una población con abastecimiento de agua por gravedad y continuo, sin embargo ello no es impedimento para poder determinar el volumen de regulación en el supuesto de abastecimiento discontinuo (por bombeo).

Así el cálculo del coeficiente en mención requiere de **asumir un periodo de bombeo de 4 horas y en las horas de mayor demanda para optimizar el volumen del reservorio (de las 7 a 9 horas y 14 a 16 horas)**, periodo suficiente para abastecer dicha muestra, cuyo procedimiento de cálculo es:

Qe, el caudal de entrega al reservorio corresponde al caudal de bombeo **Qb**, el mismo que se determina en función al periodo de bombeo, multiplicando el volumen de entrega al reservorio **Ve (%)** por **Qmd** como mínimo o por el **Qmáx.d** si este es menor o igual al caudal de la fuente.

Ve, el volumen de entrega al reservorio en cada hora se determina en función al periodo de bombeo, es decir que, en las horas de no bombeo el **Ve** es igual a cero "0" y en las horas de bombeo se obtiene dividiendo el volumen de salida **Vs** total del día por el periodo de abastecimiento.

Ley de demanda horaria en el día de máximo consumo, es obtenida del mismo modo que para la variante del método analítico en volúmenes o porcentajes con abastecimiento continuo.

Qs, el caudal de salida del reservorio corresponderá al **Qmáx.h** del día de máximo consumo en el estudio la demanda, se obtiene del producto entre el **Qmáx.d** y el coeficiente de la ley de demanda horaria.

Vs, el volumen de salida del reservorio viene dado por la ley de demanda horaria del día de máximo consumo expresada en porcentaje (coeficiente de la ley de demanda * 100).

Ve - Vs, tiene el mismo modo de cálculo y reflejo que la variante del método analítico en porcentajes con abastecimiento continuo.

Ve – Vs acumulado, tiene el mismo modo de cálculo y reflejo que el método analítico en porcentajes con abastecimiento continuo.

V_{máx}, tiene el mismo modo de cálculo y comportamiento que la variante del método analítico en porcentajes con abastecimiento continuo.

- **Volumen de regulación por el Método Gráfico**

Este método determinará también un coeficiente de regulación para capacidad o volumen de regulación del reservorio, al igual que el método anterior se basa en el estudio de demanda de agua (a partir de la micro medición de consumos).

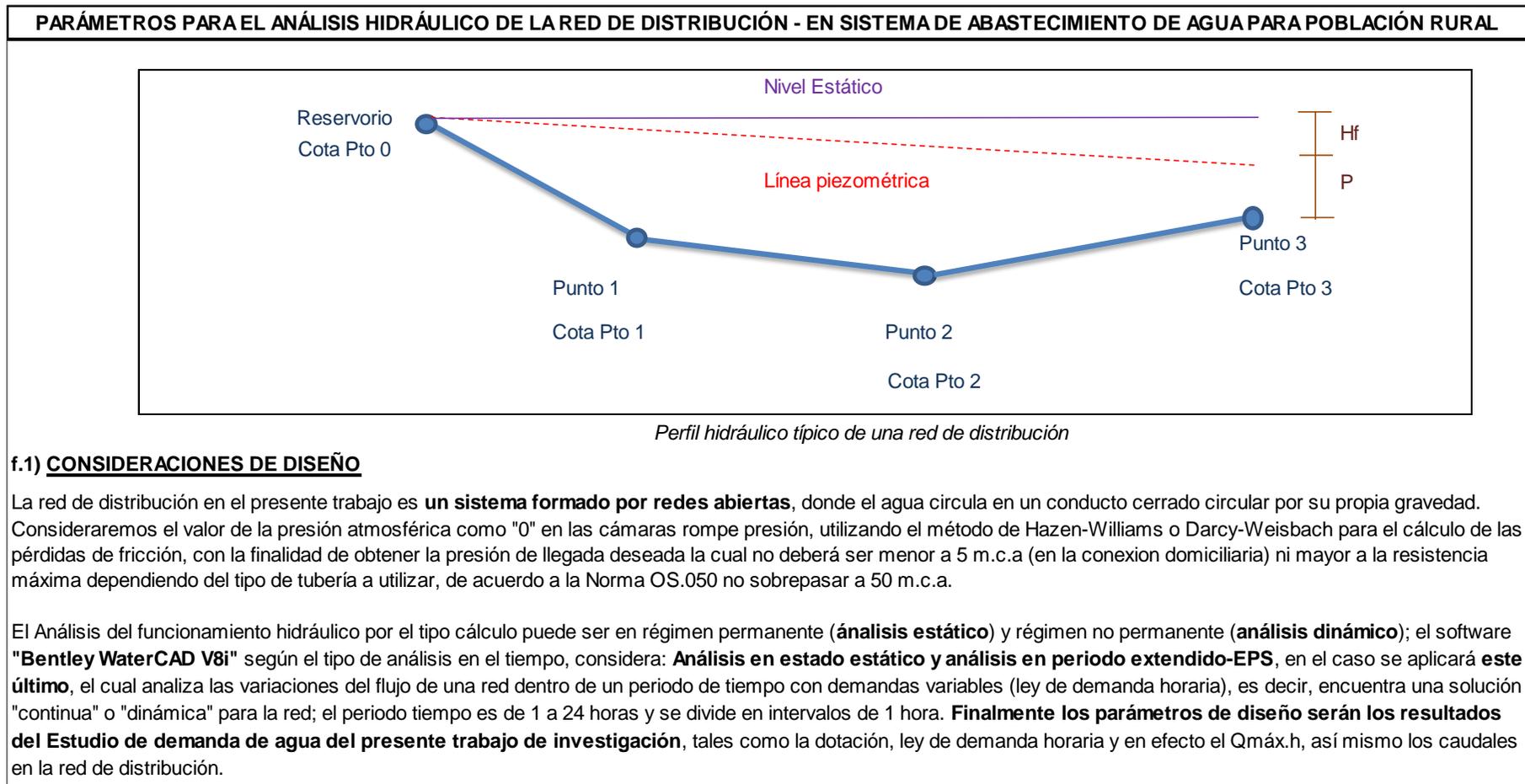
En primer lugar, al igual que para el método Analítico, **las variaciones horarias se han resumido en un solo día de consumo para 10 de 35 viviendas acumuladas de la muestra (del estudio de demanda de agua basado en la micro medición de consumos) y para todo el periodo de estudio (01 mes)**. Obteniéndose de este modo las variaciones horarias acumuladas como lo muestra la Tabla 25 de capítulo siguiente (Resultados y Discusión).

Luego se grafica la curva de consumo o de masa o curva de Rippl, y a partir de ella se calcula el volumen de regulación, que está dado por la suma del máximo déficit (cuando la curva de consumo supera el Qmedio) y el máximo superávit (cuando la curva de consumo está por debajo el Qmedio); dicho de otro modo el volumen es igual a la diferencia de la Ordenada superior y la Ordenada inferior.

El volumen de regulación calculado, en este caso será referencial, porque viene de la acumulación de consumos para todo el periodo de estudio como un solo día; sin embargo no hay ningún inconveniente para el cálculo del coeficiente de regulación C, el cual resulta de la razón entre el volumen consumido (diferencia de ordenadas de la curva de masa) y el volumen total consumido según la Tabla 25.

f) Del Análisis Hidráulico de la red y la verificación del rango de velocidades

Su desarrollo obedece al **sexto (último) objetivo específico** del presente trabajo de investigación, para poder determinarlo es necesario basarse en la metodología de las Bases Teóricas, según lo descrito en los incisos b), c) y d) del literal C del numeral 2.2. En tal sentido este trabajo de investigación realiza el análisis hidráulico de la red distribución y verificación del rango de velocidades según las siguientes consideraciones y parámetros de diseño:



f.1.1) CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN

Fórmula general de Hazen & Williams

$$h = 10,674 * [Q^{1,852} / (C^{1,852} * D^{4,871})] * L$$

Fórmula de Darcy-Weisbach

Una de las fórmulas más empleadas para obtener la pérdida de carga es la de Darcy-Weisbach. Tiene la ventaja respecto a otras, de ser más precisa (Rojas, 1994) al considerar además de las características de las tuberías, a la velocidad y viscosidad del fluido que circula dentro de ella. La fórmula está dada de la manera siguiente:

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (4.10)$$

Donde f es el coeficiente de rugosidad (adimensional), L la longitud de la tubería, d es el diámetro de la tubería, v la velocidad del flujo en la tubería y g es la aceleración de la gravedad.

El coeficiente de rugosidad f depende del tamaño promedio de las protuberancias de la pared interior de la tubería (ε , denominada rugosidad absoluta), el diámetro de la tubería, la velocidad del flujo y viscosidad del fluido que circula en la tubería; estos factores se resumen en la llamada rugosidad relativa (ε/d) y el número de Reynolds ($R = (Vd) / \nu$).

Nota: Para el caso se empleará el método de **Darcy-Weisbach**, y para el cálculo de las pérdidas locales, se está considerando una longitud equivalente igual a un 10% de la longitud real, garantizando así un comportamiento más cercano a la realidad.

Coefficiente Hazen&Williams (Norma OS.050)

Material de la tubería	C. H&W
Fierro fundido nuevo	130
Fierro fundido 10 años	110
F°G°	120
Acero	150
HDPE	140
PVC	150
Cemento o Concreto	140
Vidrio	140
Hojalata	130
Duela de madera	120

DIÁMETROS EN TUBERÍAS PVC

Nominal o Comercial	Tipo de Empalme	Diámetro Interno (mm)	Diámetro Interno (pulgadas)	Clase	Presión Trabajo (mca)	Norma reguladora
1/2 "	Espiga	17.4	0.6850	10	75	NTP 339.002
3/4 "	Espiga	22.9	0.9016	10	75	NTP 339.002
1 "	Espiga	29.4	1.1575	10	75	NTP 339.002
1 1/2 "	Espiga	44.4	1.7480	7.5	50	NTP 339.002
63mm	UF	58.4	2.2992	7.5	50	ISO 1452
75mm	UF	69.4	2.7323	7.5	50	ISO 1452
75mm	UF	67.8	2.6693	10	50	ISO 1452
90mm	UF	83.4	3.2835	7.5	50	ISO 1452

f.1.2) CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO

Ecuación de Continuidad

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

Donde:

V Velocidad del flujo a través de la tubería, m/s.
 Q Caudal del flujo, m³/s.
 A Área de la sección transversal de la tubería, m².

Nota: En una red de distribución que opera con gastos variables durante el día, no es posible lograr en todos los tramos y en todos los momentos una velocidad mínima, y esa condición no es obligatoria. Se tratará de cumplirla en lo posible para las tuberías de mayor diámetro, de tal manera que para las condiciones de demanda máxima horaria la velocidad mínima sea igual o mayor a 0.3 m/s; según algunas bibliografías como el manual "Redes de distribución" de la CNA-México.

f.1.3) RUGOSIDAD ABSOLUTA

Se considera una rugosidad absoluta para PVC, e = 0.0000015 m.

f.1.4) VISCOSIDAD CINEMATICA

Para el líquido agua a una temperatura de 20 °C, se considera $\nu = 0.000001004$ m²/s.

f.2) PARÁMETROS DE DISEÑO

f.2.1) DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE BENEFICIARIOS

Solo en el caso de tener Insituciones públicas con otros usos del agua, se determinaría el número total de *beneficiarios equivalentes* de acuerdo a la dotación que le corresponda respecto a la dotación para 01 Vivienda.

Solo considera la muestra cuyo estudio de demanda de agua es basado en la micro medición de consumos, entonces $N =$ Viviendas

f.2.2) DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA O CAUDAL UNITARIO

Segun el nuevo cirterio propuesto "**Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa**" los caudales en la red de distribución (Tabla 18) se ratifican con el estudio de demanda de agua para consumo doméstico basado en micro mediciones de consumo (Tabla 15), en tal sentido el caudal máximo probable (Q_p) = $Q_{máx.h}$ = Qunitario **para 01 Vivienda** en la hora punta y de uso simultaneo son:

Qunitario = $Q_p = Q_{máx.h}$: l/s Valor redondeado (Ver Tabla 18).

f.2.3) ASIGNACION DE DEMANADA EN NUDOS E HIDRANTES

En redes abiertas los nudos son simples, es decir son la union de una o mas tuberías, por tanto la **demanda en ellos es igual a cero (0)**. En el caso de que que el nudo sea un punto extremo de la red, este se comporta como conexión domiciliaria (**Hidrante**) donde la **demanda será el caudal unitario** indicado en el literal anterior.

Sin embargo, al contar con coeficientes de la Ley de demanda horaria en cada hora (Tabla 21), el Qunitario es afectado por dichos coeficientes, del siguiente modo:

Coefficiente de la ley de demanda horaria en la hora de máx. consumo :	<input type="text" value="2.630"/>	Valor tomado de la Tabla 21
Qunitario modificado: Qunitario/coeficiente de ley de demanda =	<input type="text" value="0.038"/>	l/s

f.2.4) DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO HORARIO $Q_{m\acute{a}x.h}$

Sabiendo que el presente Estudio, ha determinado los caudales en la red de distribución (Tabla 18) mediante un nuevo criterio propuesto "Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa", los mismos que se comportan como Q_p o $Q_{m\acute{a}x.h}$ para un determinado número de viviendas, valores que se asemejan al estudio de demanda de agua real para consumo doméstico (Tabla 15); y en función a ambas tablas se estima el K_2 (Tabla 20); así para N ya determinado, tenemos:

Caudal máx. horario, $Q_{m\acute{a}x.h}$:	0.244 l/s	De Tabla 20
Dotación promedio:	80.00 l/per-día	Valor múltiplo de 5 del rango superior para el total de la muestra (Tabla 15)

f.3) PATRONES DE DEMANDA PARA EL ANÁLISIS HIDRÁULICO EN SOFTWARE "WaterCAD V8i"

Cuando el análisis hidráulico sea en **periodo extendido-EPS**, se deben asignar patrones de demanda **para simular el uso de agua en simultáneo**, conforme lo ratifica el nuevo criterio propuesto "Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa" (ver Tabla N° 18) .

N° de Viviendas = 10.00
Factor R_2 de simultaneidad por viviendas (probabilidad de uso) = 0.264
Número de Viviendas funcionando simultáneamente = 2.64
N° redondeado de Viviendas funcionando simultáneamente = 3.00
N° de Patrones de demanda = 3.79
N° redondeado de Patrones de demanda = 4.00
$Q_{m\acute{a}x.h}$ requerido (en hora de mayor demanda) = 0.244 l/s
$Q_{m\acute{a}x.h}$ redondeado a reportar por WaterCAD = 0.300 l/s

Nota: Los patrones de demanda deberán contener coeficientes de la ley de demanda horaria (Tabla 21), en un periodo de 24 horas e intervalos de 1 hora.

f.4) INGRESO DE DATOS AL SOFTWARE "BENTLEY WATERCAD V8i"

Los datos de ingreso más resaltantes son, la red de tuberías, las opciones de cálculo, los patrones de demanda y la demanda en los nudos (hidrantes); finalmente se computa o procesa los datos.

f.4.1) La red de tuberías, el trazo de tuberías con sus respectivos diámetros preliminares puede hacerse directamente en "Bentley WaterCAD V8i", sin embargo por mayor facilidad se realiza en el software "Civil 3D" y con la ayuda del software "Google Earth Pro" se concluye la red de tuberías en un plano topográfico con sus respectivas cotas y sistema de coordenadas UTM; luego esta red es importada al "Bentley WaterCAD V8i" para su análisis hidráulico. A continuación se muestra imágenes del trazo de la red.

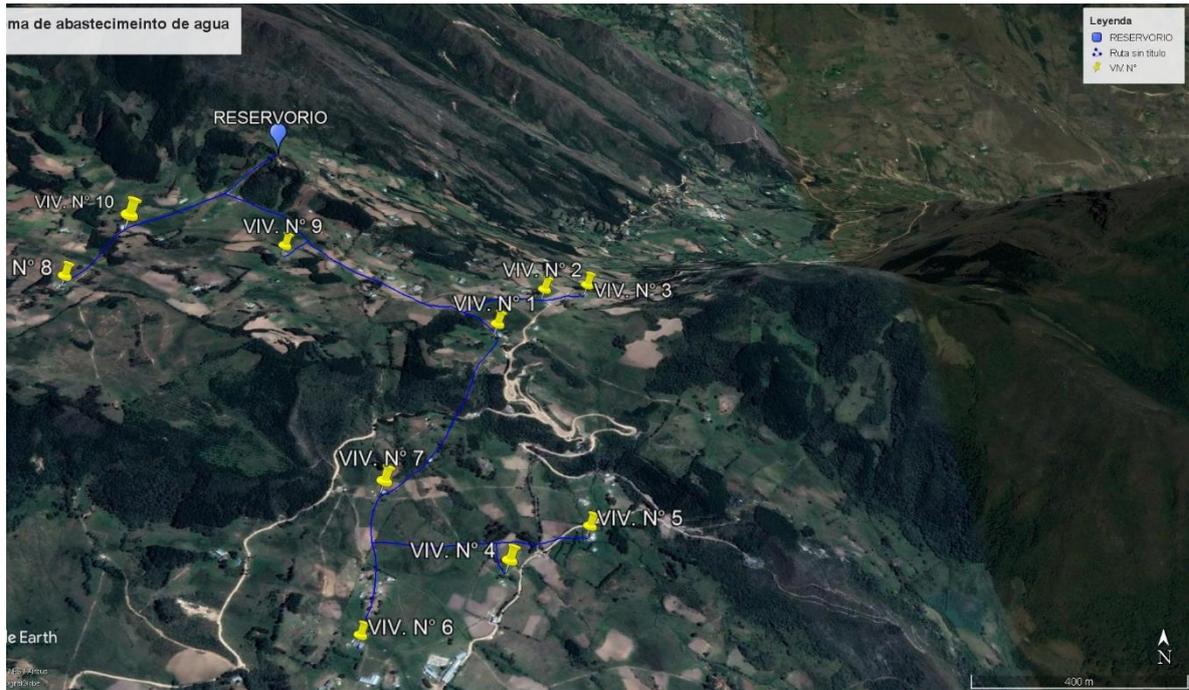


Imagen 1: Imagen satelital de la red de abastecimiento agua en la zona de estudio

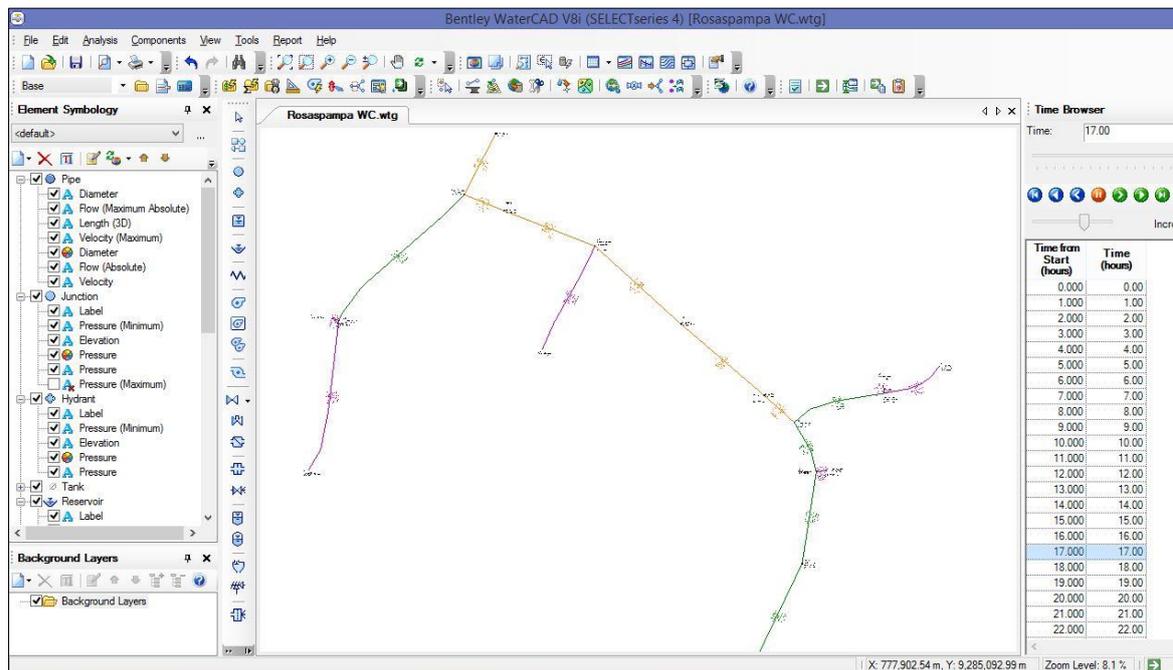


Imagen 2: Captura de Captura de red de tuberías ingresada al software “Bentley WaterCAD V8i”

f.4.2) Opciones de Cálculo, se eligen y/o ingresan directamente en “Bentley WaterCAD V8i” como se muestra en la imagen (captura) a continuación.

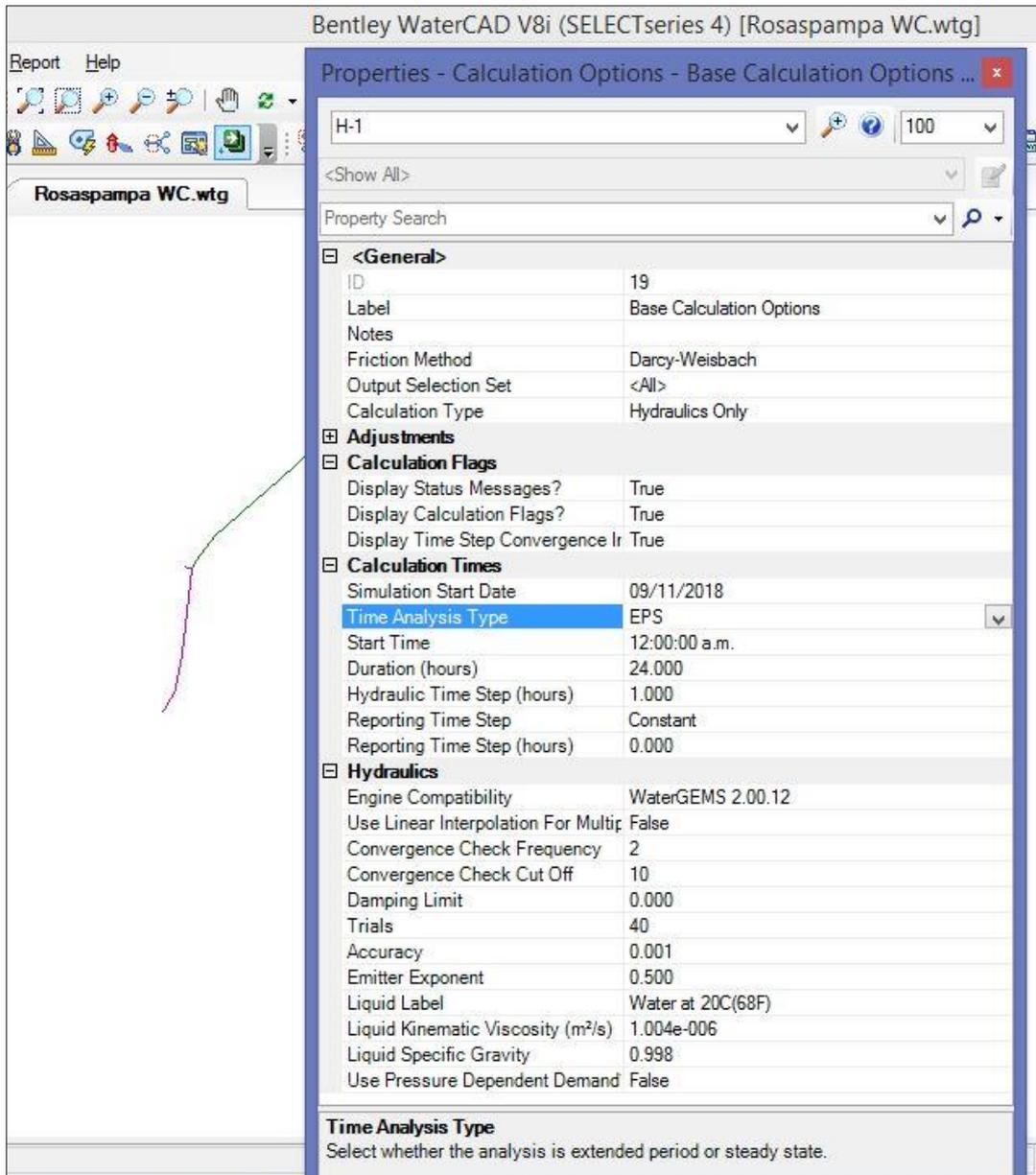


Imagen 3: Captura de opciones de cálculo ingresados al software “Bentley WaterCAD V8i”

f.4.3) Los patrones de demanda, permiten simular en “Bentley WaterCAD V8i” el uso del agua en simultaneo de cierta cantidad de viviendas respecto al total, ajustando la distribución de caudales en la red lo más cerca posible a la realidad. La cantidad de patrones se basa en el coeficiente R_2 del criterio “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” y los multiplicadores que conforman dichos patrones son los coeficientes detallados en el inciso f.3) de este mismo literal. A continuación se muestra la imagen (captura) de datos ingresados.

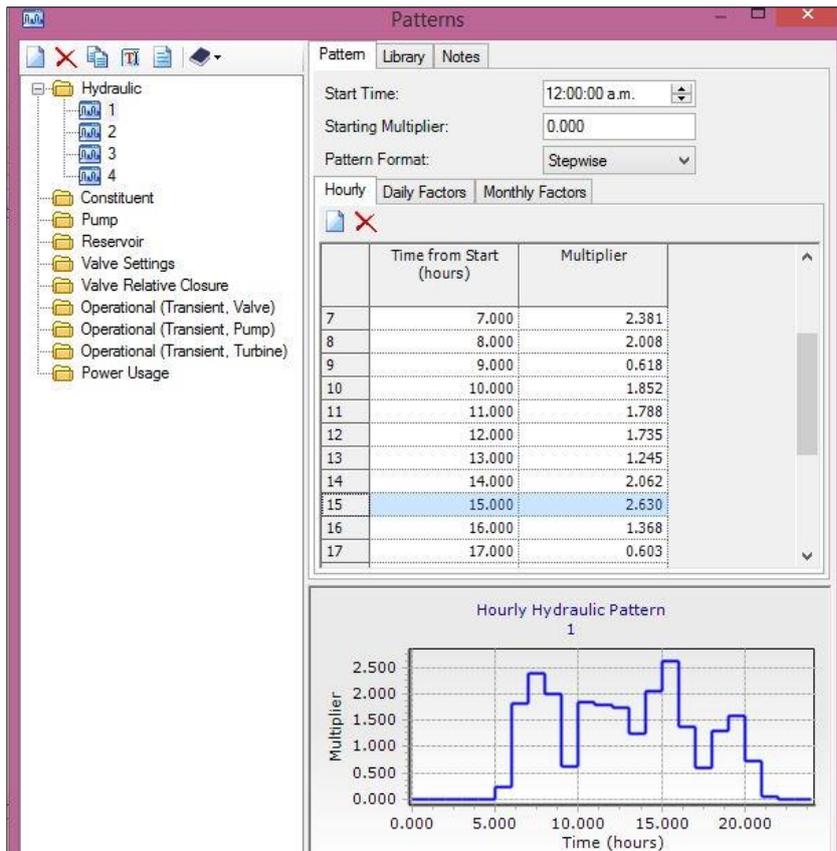


Imagen 4: Captura de patrones de demanda ingresados al software “B. WaterCAD V8i”

f.4.4) La demanda en los hidrantes, es la demanda unitaria en los nudos extremos de la red (hidrantes o viviendas) es el detallado en el inciso f.2.3) de este mismo literal; aclarando que cada hidrante va regido por un patrón de demanda horaria que al ser multiplicado por su Qunit. resultará un $Q_{m\acute{a}x.h}$ en cada ramal; asimismo los patrones que se asignan a cada hidrante deben combinarse según su cantidad ya determinada y reflejando el n° de viviendas en uso simultaneo, teniendo en cuenta además iniciar la asignación de patrones desde el hidrante más desfavorable (punto más elevado). A continuación se muestra la imagen (captura) con los datos ingresados.

ID	Label	Demand (Base) (L/s)	Pattern (Demand)	Zone
1	9499 H-1	0.0380	4	<None>
2	9500 H-2	0.0380	3	<None>
3	9501 H-3	0.0380	3	<None>
4	9502 H-4	0.0380	3	<None>
5	9503 H-5	0.0380	2	<None>
6	9504 H-6	0.0380	2	<None>
7	9505 H-7	0.0380	2	<None>
8	9506 H-8	0.0380	1	<None>
9	9507 H-9	0.0380	1	<None>
10	9508 H-10	0.0380	1	<None>

Imagen 5: Captura de demanda en hidrantes ingresada al software “B. WaterCAD V8i”

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DEL ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA

Los resultados y comentarios, se resumen en las tablas y gráficos siguientes:

- El estudio de demanda de agua para consumo doméstico en poblaciones rurales, **es el más cercano posible a la realidad**, puesto que se ha basado en: La micro medición de variaciones horarias de consumo utilizando medidores domésticos de agua (solo para efectos del estudio sin que ello restrinja el uso real del agua), en aforos de caudal por el método volumétrico en aparatos sanitarios, en un nuevo criterio planteado “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” que ajusta el cálculo de caudales en la red de distribución y, en la aplicación de cuestionarios verbales sobre costumbres y uso del agua; y que a pesar de haberse realizado en el periodo de 01 mes, este corresponde a un periodo de estiaje (ver Anexo 2), lo cual garantiza la certeza de los resultados más críticos en el año.
- El **uso del agua** en poblaciones rurales de la región Cajamarca con sistemas de saneamiento de arrastre hidráulico, es del tipo doméstico, el mismo que depende mayormente del clima (templado) y de las costumbres de la población, donde una misma vivienda por lo general no utilizan los aparatos sanitarios en simultáneo, es decir, casi nunca utilizan el urinario o inodoro para orinar sino que lo hacen al aire libre, en algunas ocasiones no utilizan el inodoro para defecar puesto que se encuentran fuera de casa (en la chacra, en los animales, etc.), se duchan entre 1 y 2 veces por semana y rara vez por 3 veces. Entonces la dotación es menor que en las poblaciones urbanas, pues obviamente la dotación depende del tipo de saneamiento básico.
- Los datos recogidos en el “Formato 1” por cada vivienda, para 10 viviendas con estudio de demanda de agua, basado en la micro medición de consumo con medidores domésticos, se presentan en el Anexo 4, y para la 1ª vivienda se presenta a continuación. Del mismo modo los resultados del “Formato 2” por cada vivienda, se presentan en el Anexo 4, aunque para la 1ª vivienda se muestra a continuación. De forma similar los resultados del “Formato 3”, de modo acumulativo de vivienda en vivienda se presentan en el Anexo 4, y para el acumulado de 10 viviendas es el que se muestra a continuación. Finalmente el resumen de parámetros básicos de diseño se presenta en la Tabla 15.

ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN POBLACIONES RURALES
FORMATO 1: LECTURA DE VARIACIONES HORARIAS DE CONSUMO EN LITROS (L)

MEDIDOR	N°: 01	Tipo/Marca/Serie: Medidor de agua doméstico / ELSTER / E15SC04152				
USUARIO:	MARRUFO CARUAJULCA, José Esaúl					DNI: 27444506
TIPO DE CONSUMO:	DOMÉSTICO - VIVIENDA					N° PERSONAS/VIVIENDA: 3
TIPO DE DISPOSICION DE EXCRETAS:	UNIDAD BÁSICA DE SANEAMIENTO CON ARRASTRE HIDRÁULICO (UBS-AH)					
UBICACIÓN	Localidad: Rosaspampa	Centro Pob.: Rosaspampa	Distrito Chalamarca	Provin. Chota	Región Cajamarca	
FECHA:	Del 31 de Octubre al 27 de Noviembre del 2016					

PERIODO HORAS	SEMANA 1 (31 Oct.-06 Nov. del 2016)			SEMANA 2 (07 Nov.-13 Nov. del 2016)			SEMANA 3 (14 Nov.-20 Nov. del 2016)			SEMANA 4 (21 Nov.-27 Nov. del 2016)		
	JUEVES	SABADO	DOMINGO	MIERCOLES	SABADO	DOMINGO	LUNES	SABADO	DOMINGO	MARTES	SABADO	DOMINGO
00 - 01												
01 - 02												
02 - 03												
03 - 04												
04 - 05												
05 - 06	65 - 65	400 - 400	517 - 517	964.5 - 964.5	1220 - 1220	1345 - 1345	1615 - 1615	2528 - 2528	2799 - 2799	3069 - 3069	3706 - 3706	3845 - 3845
06 - 07	65 - 104	400 - 406	517 - 532.5	964.5 - 970	1220 - 1245	1345 - 1345	1615 - 1624	2528 - 2536	2799 - 2804	3069 - 3069	3706 - 3712	3845 - 3860
07 - 08	104 - 114.5	406 - 425	532.5 - 534	970 - 997.5	1245 - 1246	1345 - 1354	1624 - 1638	2536 - 2560	2804 - 2818	3069 - 3080	3712 - 3735	3860 - 3866
08 - 09	114.5 - 115	425 - 432	534 - 549	997.5 - 999	1246 - 1250	1354 - 1371	1638 - 1656	2560 - 2560	2818 - 2818	3080 - 3095	3735 - 3740	3866 - 3881
09 - 10	115 - 125	432 - 453	549 - 549	999 - 1011	1250 - 1251	1371 - 1371	1656 - 1656	2560 - 2571	2818 - 2818	3095 - 3095	3740 - 3758	3881 - 3881
10 - 11	125 - 136	453 - 458	549 - 549	1011 - 1020	1251 - 1267	1371 - 1421	1656 - 1665	2571 - 2571	2818 - 2825	3095 - 3144	3758 - 3764	3881 - 3881
11 - 12	136 - 145	458 - 459	549 - 559	1020 - 1021	1267 - 1269	1421 - 1489	1665 - 1673	2571 - 2680	2825 - 2825	3144 - 3178	3764 - 3764	3881 - 3900
12 - 13	145 - 158.5	459 - 467	559 - 559	1021 - 1049	1269 - 1279	1489 - 1498	1673 - 1690	2680 - 2721	2825 - 2835	3178 - 3200	3764 - 3777	3900 - 3914
13 - 14	158.5 - 161	467 - 469	559 - 580	1049 - 1053	1279 - 1284	1498 - 1498	1690 - 1690	2721 - 2721	2835 - 2850	3200 - 3200	3777 - 3777	3914 - 3915
14 - 15	161 - 161	469 - 471.5	580 - 588	1053 - 1061	1284 - 1317	1498 - 1498	1690 - 1720	2721 - 2721	2850 - 2850	3200 - 3200	3777 - 3780	3915 - 3915
15 - 16	161 - 161	471.5 - 478.5	588 - 592	1061 - 1067	1317 - 1317	1498 - 1549	1720 - 1720	2721 - 2776	2850 - 2885	3200 - 3211	3780 - 3799	3915 - 3990
16 - 17	161 - 171	478.5 - 492	592 - 609	1067 - 1096	1317 - 1317	1549 - 1590	1720 - 1741	2776 - 2785	2885 - 2899	3211 - 3215	3799 - 3814	3990 - 4037
17 - 18	171 - 234	492 - 493	609 - 693	1096 - 1096	1317 - 1317	1590 - 1590	1741 - 1744	2785 - 2785	2899 - 2899	3215 - 3215	3814 - 3814	4037 - 4070
18 - 19	234 - 278	493 - 504	693 - 709	1096 - 1096	1317 - 1317	1590 - 1590	1744 - 1744	2785 - 2785	2899 - 2910	3215 - 3229	3814 - 3827	4070 - 4081
19 - 20	278 - 295	504 - 517	709 - 709	1096 - 1105	1317 - 1337	1590 - 1607	1744 - 1766	2785 - 2795	2910 - 2924	3229 - 3242	3827 - 3845	4081 - 4092
20 - 21	295 - 299	517 - 517	709 - 709	1105 - 1116	1337 - 1345	1607 - 1615	1766 - 1780	2795 - 2799	2924 - 2934	3242 - 3242	3845 - 3845	4092 - 4092
21 - 22	299 - 299			1116 - 1132	1345 - 1345	1615 - 1615	1780 - 1780	2799 - 2799	2934 - 2934	3242 - 3242	3845 - 3845	
22 - 23				1132 - 1132								
23 - 24												

Nota: En la semana 2 (entre miércoles y sábado), existe incongruencia en el desfaz de lecturas; debido a la interrupción del servicio por labores de mantenimiento en la matriz que alimenta a esta VIVIENDA.

ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN POBLACIONES RURALES

FORMATO 2: RESÚMEN DE CONSUMOS POR VIVIENDA EN LITROS (I)

MEDIDOR	N°: 01	Tipo/Marca/Serie: Medidor de agua doméstico / ELSTER / E15SC04152											
USUARIO:	MARRUFO CARUAJULCA, José Esaúl								DNI:	27444506			
TIPO DE CONSUMO:	DOMÉSTICO - VIVIENDA								N° PERSONAS/VIVIENDA: 3				
TIPO DE DISPOSICION DE EXCRETAS: UNIDAD BÁSICA DE SANEAMIENTO CON ARRASTRE HIDRÁULICO (UBS-AH)													
UBICACIÓN	Localidad: Rosaspampa	Centro Pob.: Rosaspampa	Distrito: Chalamarca	Provincia: Chota	Región: Cajamarca								
FECHA:	Del 31 de Octubre al 27 de Noviembre del 2016												
PERIODO	SEMANA 1 (31 Oct.-06 Nov. del 2016)			SEMANA 2 (07 Nov.-13 Nov. del 2016)			SEMANA 3 (14 Nov.-20 Nov. del 2016)			SEMANA 4 (21 Nov.-27 Nov. del 2016)			
HORAS	JUEVES	SABADO	DOMINGO	MIERCOLES	SABADO	DOMINGO	LUNES	SABADO	DOMINGO	MARTES	SABADO	DOMINGO	
00 - 01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
01 - 02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02 - 03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03 - 04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
04 - 05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
05 - 06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06 - 07	39	6	15.5	5.5	25	0	9	8	5	0	6	15	
07 - 08	10.5	19	1.5	27.5	1	9	14	24	14	11	23	6	
08 - 09	0.5	7	15	1.5	4	17	18	0	0	15	5	15	
09 - 10	10	21	0	12	1	0	0	11	0	0	18	0	
10 - 11	11	5	0	9	16	50	9	0	7	49	6	0	
11 - 12	9	1	10	1	2	68	8	109	0	34	0	19	
12 - 13	13.5	8	0	28	10	9	17	41	10	22	13	14	
13 - 14	2.5	2	21	4	5	0	0	0	15	0	0	1	
14 - 15	0	2.5	8	8	33	0	30	0	0	0	3	0	
15 - 16	0	7	4	6	0	51	0	55	35	11	19	75	
16 - 17	10	13.5	17	29	0	41	21	9	14	4	15	47	
17 - 18	63	1	84	0	0	0	3	0	0	0	0	33	
18 - 19	44	11	16	0	0	0	0	0	11	14	13	11	
19 - 20	17	13	0	9	20	17	22	10	14	13	18	11	
20 - 21	4	0	0	11	8	8	14	4	10	0	0	0	
21 - 22	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	
22 - 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23 - 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CON. DIARIO	234	117	192	167.5	125	270	165	271	135	173	139	247	
Qmd	186.29 l/día												
DOTACION	62.10 l/per-día												
K ₁	1.45												
K ₂	14.04												

ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN POBLACIONES RURALES
FORMATO 3: RESÚMEN DE CONSUMOS ACUMULADOS EN LITROS (I)

MEDIDORES ACUMULADOS N°.: 03, 04, 09, 05, 10, 02, 08, 07, 01 y 06												
USUARIOS ACUMULADOS: 10 VIVIENDAS												
TIPO DE CONSUMO: DOMÉSTICO - VIVIENDA N° PERSONAS ACUMULADAS: 42												
TIPO DE DISPOSICION DE EXCRETAS: UNIDAD BÁSICA DE SANEAMIENTO CON ARRASTRE HIDRÁULICO (UBS-AH)												
UBICACIÓN Localidad: Rosaspampa Centro Pob.: Rosaspampa Distrito: Chalamarca Provincia: Chota Región: Cajamarca												
FECHA: Del 31 de Octubre al 27 de Noviembre del 2016												
PERIODO HORAS	SEMANA 1 (31 Oct.-06 Nov. del 2016)			SEMANA 2 (07 Nov.-13 Nov. del 2016)			SEMANA 3 (14 Nov.-20 Nov. del 2016)			SEMANA 4 (21 Nov.-27 Nov. del 2016)		
	DIA LABORA.	SABADO	DOMINGO									
00 - 01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01 - 02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02 - 03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03 - 04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04 - 05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05 - 06	13	5	78	11	6	39	12	2	54	36	9	121
06 - 07	312	169	321.5	220.5	72	343	345	138	296	199	211	244
07 - 08	346	263	347.5	311.5	512	353	219	301	292	302	229	297
08 - 09	120	464	234	283.5	370	220	117	362	221	165	354	271
09 - 10	27.5	101	75	137	13	85	20	150	93	27	132	119
10 - 11	237	409	195	327	72	367	321	177	131	567	20	112
11 - 12	240	326	10	114	246	467	349	272	149	250	199	211
12 - 13	165.5	297	21	294	190	373	235	248	309	215	310	91
13 - 14	128.5	58	106	169	316	317	83	199	115	197	67	217
14 - 15	255	427.5	315	80	462	205	133	184	249	145	480	331
15 - 16	245	265	348	272	853	163	164	262	453	266	589	287
16 - 17	113	258.5	195	202	210	41	199	223	220	87	245	174
17 - 18	219	99	120	25	8	32	102	174	0	27	78	72
18 - 19	255	125	139	267	80	194	165	106	173	225	105	221
19 - 20	300.5	165	183	214	192	178	230	246	169	237	175	206
20 - 21	117	55	75	114	81	67	160	108	99	97	114	79
21 - 22	0	6	18	24	5	0	0	0	0	0	19	0
22 - 23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23 - 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CON. DIARIO	3,094.00	3,493.00	2,781.00	3,065.50	3,688.00	3,444.00	2,854.00	3,152.00	3,023.00	3,042.00	3,336.00	3,053.00
Qmd	3,168.79 l/día											
DOTACION	75.45 l/per-día											
K ₁	1.16											
K ₂	6.46											

Tabla 15: Resumen de parámetros de diseño, según estudio de demanda de agua basado en micro mediciones de consumo doméstico

Nº Acumulado de Viv.	Orden de acumulación de Viviendas, de mayor a menor dotación (según Formato 3)	Qmd (L/s)	Densidad Promedio (per/viv.)	Dotación Promedio (l/per-día)	K ₁	K ₂	Qmáx.d (L/s)	Qmáx.h (L/s)	K ₂ en el día de máx. consumo
1	3º	0.0066	6.00	95.40	2.36	17.69	0.0156	0.117	7.502
2	3º,4º	0.0113	5.50	88.95	1.65	10.50	0.0187	0.119	6.349
3	3º,4º,9º	0.0167	5.67	84.72	1.53	10.30	0.0254	0.172	6.748
4	3º,4º,9º,5º	0.0193	5.00	83.23	1.48	8.91	0.0284	0.172	6.037
5	3º,4º,9º,5º,10º	0.0236	5.00	81.54	1.35	7.68	0.0319	0.181	5.670
6	3º,4º,9º,5º,10º,2º	0.0269	4.83	80.28	1.25	7.36	0.0338	0.198	5.868
7	3º,4º,9º,5º,10º,2º,8º	0.0294	4.57	79.50	1.22	7.06	0.0359	0.208	5.791
8	3º,4º,9º,5º,10º,2º,8º,7º	0.0318	4.38	78.47	1.21	6.74	0.0383	0.214	5.585
9	3º,4º,9º,5º,10º,2º,8º,7º,1º	0.0339	4.22	77.17	1.17	6.31	0.0398	0.214	5.382
10	3º,4º,9º,5º,10º,2º,8º,7º,1º,6º	0.0367	4.20	75.45	1.16	6.46	0.0427	0.237	5.551

- La dotación promedio más acertada viene a ser la acumulada para el total de la muestra, por corresponder al estudio como un solo sistema de agua lo cual se presenta en la realidad, así **la dotación promedio es 75.45 L/per-día** y que por condiciones de mayor nivel de confianza se plantea considerarla como una magnitud constante dentro del **rango de 70 a 80 L/per-día**. Es razonable considerar este rango cuando se proyecte a más viviendas, siempre que el tipo de uso del agua sea de similares condiciones, tal como se propone en el nuevo Criterio propuesto “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” que ajusta el cálculo de caudales en la red de distribución (ver resultados más adelante en numerales 4.3 y 4.4).
- La densidad promedio, da lo mismo que sea la acumulada para el total de la muestra o si se calcula directamente con la media aritmética para la muestra, así la densidad promedio es de 4.20 personas/vivienda, proponiendo considerarla de **4 a 5 per/viv.**
- El caudal medio diario (**Qmd**) es siempre variable y ha sido determinado a partir del estudio de demanda de agua, tal como lo señala el literal a) del capítulo anterior, pero que para efectos de aplicación a futuros proyectos de ingeniería de condiciones similares al presente trabajo de investigación, será fácil de obtenerlo al contar con la dotación promedio y la densidad poblacional, las cuales permanecerán constantes.

- El coeficiente de variación diaria de consumo (K_1) decrece ligeramente conforme aumenta el número de viviendas, **pudiéndose definir como una magnitud constante dentro del rango de 1.20 a 1.60.**
- El coeficiente de variación horaria de consumo (K_2) decrece considerablemente conforme aumenta el número de viviendas, siendo indirectamente proporcional al número de estas, este varía desde 17.69 hasta 6.46 para 01 y 10 viviendas respectivamente. Asimismo el K_2 se ha proyectado hasta 35 viviendas de la muestra, tras haber propuesto un criterio que determina los caudales en la red de un sistema de abastecimiento agua, cuyos resultados se ajustan al estudio de demanda, **por lo que se debe considerar como una magnitud variable de 6.00 a 3.00 para 1 a 35 viviendas respectivamente con densidad promedio de 4 a 5 per/viv** (ver resultados del nuevo criterio propuesto en el numeral 4.4).
- Cabe precisar que en el estudio de demanda de agua, lógicamente el K_2 se ha determinado en función al caudal medio horario (Q_{mh}) de todo el periodo de estudio, tal como lo manifiesta el literal a) del capítulo anterior; sin embargo por razones de análisis y discusión de resultados, y de conocer la ley de demanda diaria en el día de máximo consumo, es que **también se ha determinado** un K_2 en función al Q_{mh} del día de máximo consumo (**K_2 del día de máx. consumo**), pues de la tabla en análisis se aprecia que este último es siempre menor al primero, entonces es indiferente calcular el caudal máximo horario $Q_{máx.h}$ en $f(K_2 \text{ y } Q_{md})$ o en $f(K_2 \text{ del día de máx. consumo y } Q_{máx.d})$; así para el caso de 10 viviendas se tiene que:

$$Q_{máx.h} = 6.46 * 0.0367 = 0.237 \text{ L/s; o}$$

$$Q_{máx.h} = 5.55 * 0.0427 = 0.237 \text{ L/s.}$$
- El caudal máximo diario (**$Q_{máx.d}$**) es siempre variable y ha sido determinado a partir del estudio de demanda de agua, tal como lo señala el literal a) del capítulo anterior, pero que para efectos de aplicación a futuros proyectos de ingeniería de condiciones similares al presente trabajo de investigación, será fácil de obtenerlo después de definir un Q_{md} y un rango de valores para el K_1 con el que ya se cuenta.
- El caudal máximo horario (**$Q_{máx.h}$**) es siempre variable y ha sido determinado a partir del estudio de demanda de agua, tal como lo detalla el

literal a) del capítulo anterior, pero que para efectos de aplicación a futuros proyectos de ingeniería de condiciones similares al presente trabajo de investigación, será fácil de obtenerlo después de definir un Qmd y los valores del K_2 con los que ya se cuenta según el número de viviendas. **De otro lado el $Q_{m\acute{a}x.h}$ se ha proyectado hasta para 35 viviendas de la muestra e incluso puede proyectarse a más viviendas, siempre que el tipo de uso del agua sea de similares condiciones**, tras haber propuestos un nuevo criterio que determina los caudales en la red de distribución de un sistema de abastecimiento agua, cuyos resultados se ajustan al estudio de demanda de agua, (ver resultados en numerales 4.3 y 4.4).

- Para poder apreciar mejor las variaciones de consumo correspondientes al estudio de demanda de agua, se han elaborado las gráficas que a continuación se muestran:

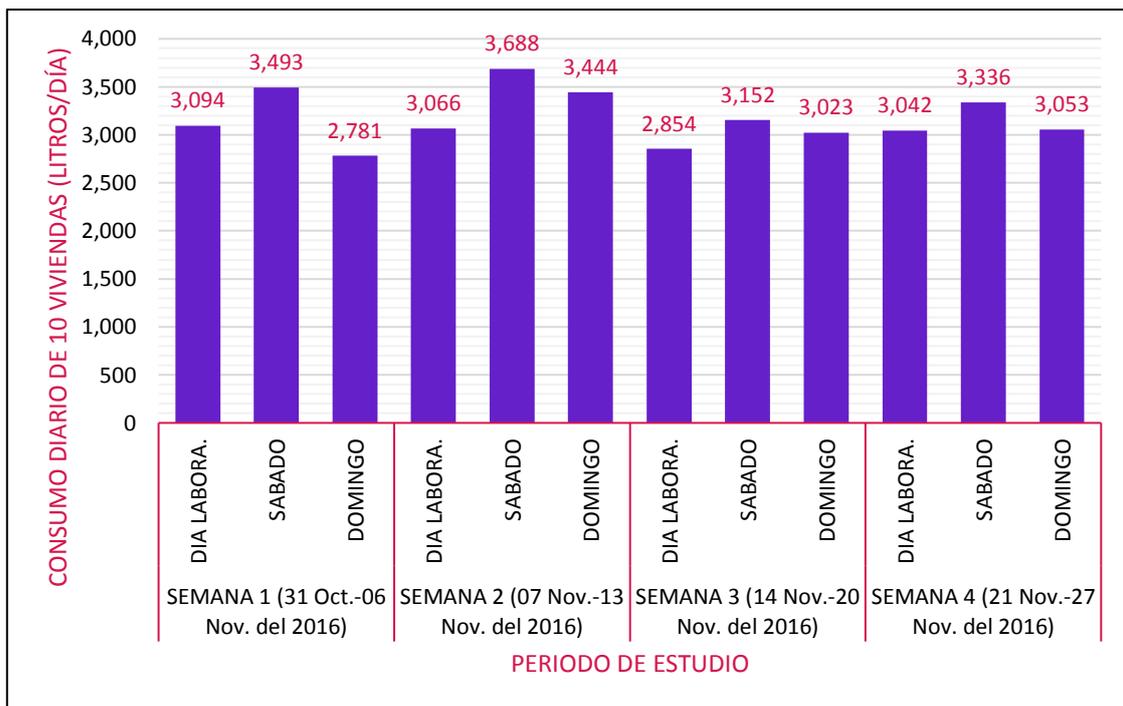


Gráfico 1: Demanda diaria de agua, durante todo el periodo de estudio

De gráfico se deduce que para 10 de 35 viviendas de la muestra con un total de 42 personas, la demanda diaria tiende a ser constante ($K_1=1.16$) aunque en los fines de semana es ligeramente superior a los días laborables, el $Q_{m\acute{a}x.d} = 3,688$ L/día = 0.0427 L/s y se presenta un día sábado de la segunda semana del mes de noviembre en el periodo de estudio, el $Q_{md} = 3,168.79$ L/día = 0.0367 L/s, la dotación promedio es de 75.45 L/per-día.

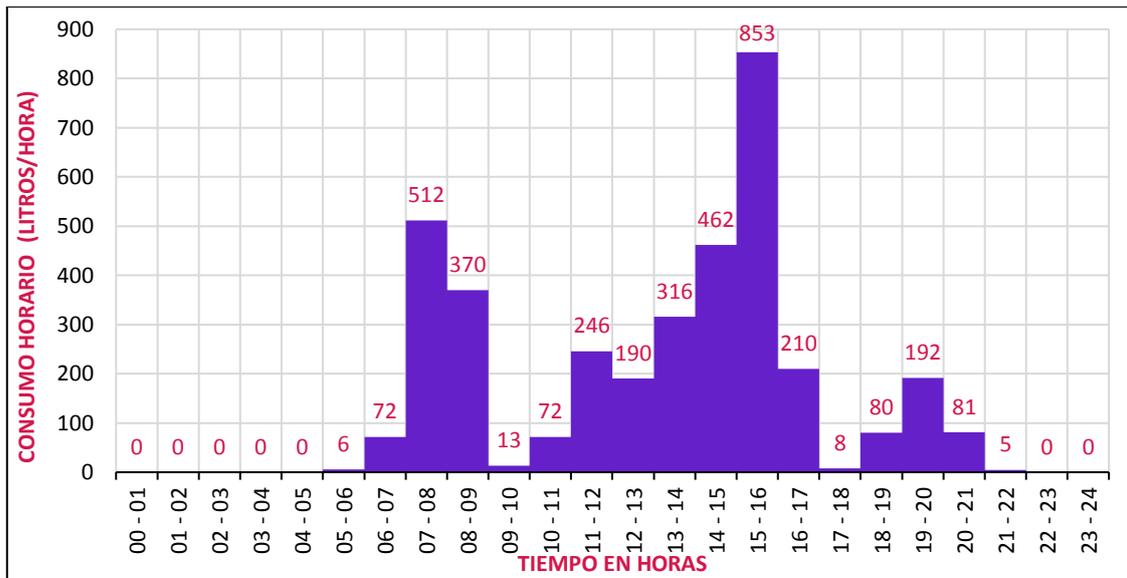


Gráfico 2: Variación de la demanda horaria de agua en litros (patrón de consumo), durante el día de máximo consumo.

El histograma grafica las variaciones horarias durante el día de máximo consumo, donde se observan grandes variaciones entre las 05 y 22 horas excepto en el resto de horas que no existe consumo, lo cual refleja la gran variabilidad del K_2 , de modo tal que si dividimos el caudal instantáneo de cada hora por el caudal medio **obtenemos la ley de demanda horaria en el día de máximo consumo**; de otro lado se puede deducir que para 10 de 35 viviendas de la muestra con un total de 42 personas, el $Q_{\text{máx.h}} = 853 \text{ L/h} = 0.237 \text{ L/s}$ y se presenta entre las 15 y 16 horas del día de máximo consumo, el caudal medio horario Q_{mh} del día de máximo consumo es $= 153.67 \text{ L/h}$, con lo cual se determina un K_2 en día de máximo consumo $= 5.551$, sin embargo en función al Q_{mh} de todo el periodo de estudio el K_2 es $= 6.46$ (lineamiento que se proponen aplicar según análisis de la tabla anterior).

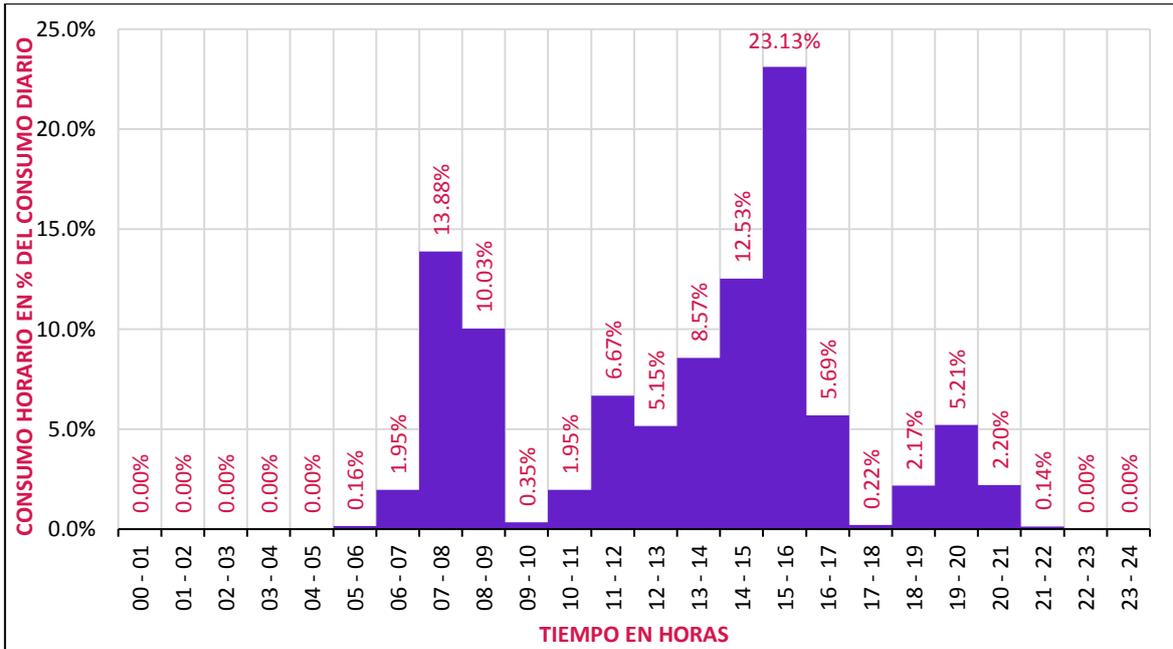


Gráfico 3: Variación de la demanda horaria en porcentaje de la demanda diaria (patrón de consumo), durante el día de máximo consumo

El histograma grafica las variaciones horarias al igual que el histograma anterior, pero esta vez expresadas en porcentaje del consumo diario y durante el día de máximo consumo; de otro lado se puede deducir que para 10 de 35 viviendas de la muestra con un total de 42 personas, el $Q_{\max.h} = 23.13\%$ del consumo diario y se presenta entre las 15 y 16 horas del día de máximo consumo.

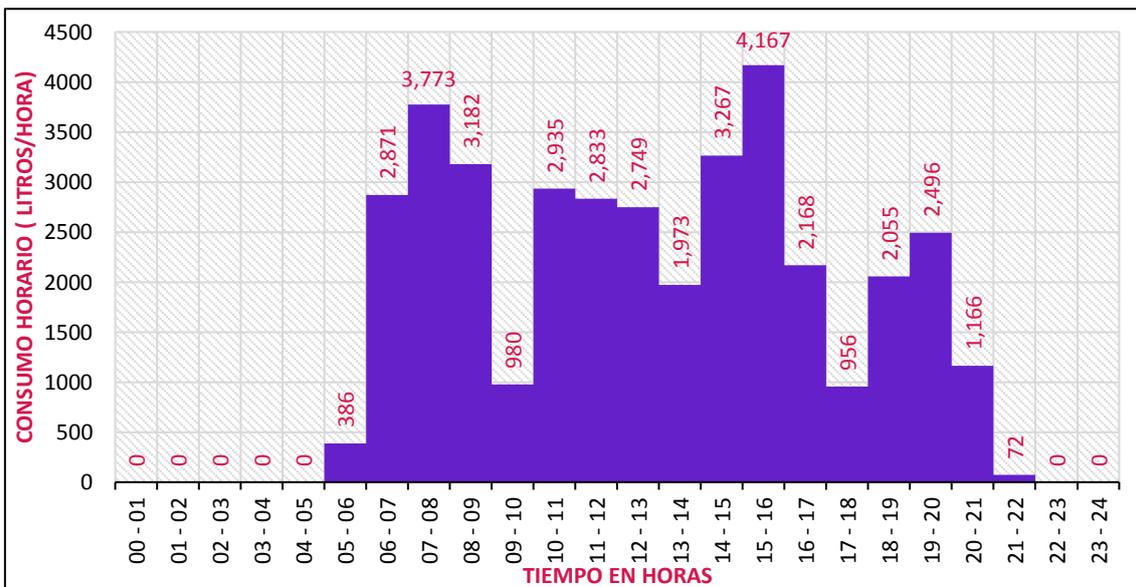


Gráfico 4: Variación de la demanda horaria de agua en litros (patrón de consumo), durante todo el periodo de estudio acumulado como un solo día

El histograma grafica las variaciones horarias durante todo el periodo de estudio acumulado como un solo día, donde también se observan grandes variaciones entre las 05 y 22 horas en dos picos más pronunciados de las 7 a las 9 horas y de las 14 a 16 horas, aunque estas variaciones son de menor proporción respecto a las variaciones horarias del día de máximo consumo (ver gráfico 2), sin embargo aquí también se refleja la gran variabilidad del K_2 , de modo tal que si dividimos el caudal instantáneo de cada hora por el caudal medio **obtenemos la ley de demanda horaria resumida en un solo día y para todo el periodo de estudio**; también se deduce que para 10 de 35 viviendas de la muestra con un total de 42 personas, el $Q_{\text{máx.h}} = 4,167 \text{ L/h}$ y se presenta entre las 15 y 16 horas para todo el periodo de estudio.



Gráfico 5: Variación de la demanda horaria en porcentaje de la demanda diaria (patrón de consumo), para todo el periodo de estudio acumulado como un solo día

El histograma grafica las variaciones horarias al igual que el histograma anterior, pero esta vez expresadas en porcentaje del consumo diario y durante todo el periodo de estudio; de otro lado se puede deducir que para 10 de 35 viviendas de la muestra con un total de 42 personas, el $Q_{\text{máx.h}} = 10.96\%$ del consumo diario y se presenta entre las 15 y 16 horas para todo el periodo de estudio.

4.2. DE LOS AFOROS DE CAUDAL POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO

- Los resultados más críticos de caudal unitario se presentan a continuación:

Tabla 16: Aforo en aparatos sanitarios por el método volumétrico, en la hora de máximo consumo para el presente estudio

AFORO DE PILETA - LAVADERO MULTIUSOS					
AFORO Nº 1		AFORO Nº 2		AFORO Nº 3	
VOLÚMEN (l)	2.10	VOLÚMEN (l)	1.50	VOLÚMEN (l)	2.00
TIEMPO (s)	16.79	TIEMPO (s)	12.42	TIEMPO (s)	17.02
CAUDAL (l/s)	0.125	CAUDAL (l/s)	0.121	CAUDAL (l/s)	0.118
PROMEDIO: 0.121 l/s					

AFORO DE DUCHA					
AFORO Nº 1		AFORO Nº 2		AFORO Nº 3	
VOLÚMEN (l)	1.10	VOLÚMEN (l)	1.05	VOLÚMEN (l)	1.00
TIEMPO (s)	13.47	TIEMPO (s)	12.94	TIEMPO (s)	12.20
CAUDAL (l/s)	0.082	CAUDAL (l/s)	0.081	CAUDAL (l/s)	0.082
PROMEDIO: 0.082 l/s					

AFORO DE LAVATORIO - LAVAMANOS					
AFORO Nº 1		AFORO Nº 2		AFORO Nº 3	
VOLÚMEN (l)	0.60	VOLÚMEN (l)	0.65	VOLÚMEN (l)	0.60
TIEMPO (s)	6.67	TIEMPO (s)	7.12	TIEMPO (s)	6.42
CAUDAL (l/s)	0.090	CAUDAL (l/s)	0.091	CAUDAL (l/s)	0.093
PROMEDIO: 0.092 l/s					

- Dichos resultados promedio en las horas punta, redondeados a dos cifras decimales, se resumen a continuación:
 - Pileta o lavadero multiusos (aparato sanitario más representativo en cuanto al uso), su caudal varía desde 0.12 a 0.18 L/s.
 - Ducha, su caudal promedio en la hora punta es de 0.08 L/s.
 - Lavatorio de manos, su caudal promedio en la hora punta es 0.09 L/s.
- Finalmente los resultados del cálculo de la dotación de modo alternativo al estudio de demanda de agua basado en micro mediciones de consumo de agua, se presentan la tabla 17 siguiente. Así pues **la dotación determinada de modo alternativo** en el día de máximo consumo **es de 77.58 L/per-día**, valor que encuentra en el rango de dotación promedio obtenido (**70 a 80 L/per-día**) del estudio real de demanda de agua con medidores domésticos, y que para efectos de aplicación se adoptará este rango propuesto.

Tabla 17: Cálculo alternativo del consumo por persona (dotación), a partir del caudal unitario por aparato sanitario y del tipo de uso del agua

USO DEL AGUA	CONSUMO
Doméstico con Unidad Básica de Saneamiento con Arrastre Hidráulico	
Caudal de Descarga Inodoro (L/per-día)	10
Nº máximo de descargas de tanque (desc/per/día)	2
Volumen por descarga inodoro tanque bajo(l/desc)	5
Caudal de Ducha – Aseo personal (L/per-día)	19.58
Nº Baño-Ducha (ducha/día)	1
Duración Baño-Ducha llave abierta (min/ducha/per)	4
Caudal unitario Ducha (l/min)	4.90
Caudal de Lavatorio - Aseo personal (L/per-día)	5
Volumen lavado manos (l/per-día)	3
Volumen lavado dientes (l/per-día)	1
Volumen lavado cara (l/per-día)	1
Caudal de Pileta - Lavadero multiusos y alimentación (L/per-día)	43
Nº Lavado de ropa (Lav/día)	1
Volumen por lavado de ropa (l/lav/per)	25
Nº Lavado de utensilios de cocina (Lav/día)	2
Volumen por lavado de utensilios de cocina (l/lav/per)	3
Nº alimentaciones (Alim/día)	3
Volumen por preparación de alimentos (l/alim/per)	4
Caudal Total - Dotación (L/per-día)	77.58

4.3. DEL CRITERIO PARA DETERMINAR LOS CAUDALES EN LA RED

- Antes de presentar los resultados es importante resaltar que, la población rural del presente estudio cuenta con sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento con arrastre hidráulico, condiciones que en cierto modo lo asemejan a una población residencial urbana, respecto a su consumo doméstico, y es por ello que resulta factible la aplicación del Criterio planteado denominado **“Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”**, criterio que **constituye una buena alternativa que complementa el estudio de demanda de agua.**
- **Los resultados** de aplicar este nuevo Criterio, **son los caudales en la red de distribución como es el caudal máximo probable que tiene el mismo valor que el caudal máximo horario.** En la siguiente tabla se muestra dichos resultados.

Tabla 18: Cálculo de caudales en la red de distribución, por el criterio propuesto “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”

I. DEL MÉTODO RACIONAL ADAPTADO A LA POBLACIÓN RURAL					
ROSASPAMPA					
N (viviendas acumuladas)	n (aparatos sanita. en 1 vivienda)	Coefficiente de simultaneidad por aparatos sanitarios: R_1	Caudal máx. posible: $Q_{m\acute{a}x}$ (l/s)	Coefficiente de simultaneidad por grupo de viviendas: R_2	Caudal máx. probable: $Q_p = Q_{m\acute{a}x}.h$ (l/s)
1	4	0.577	0.16	1.000	0.092
2	4	0.577	0.32	0.700	0.129
3	4	0.577	0.48	0.550	0.152
4	4	0.577	0.64	0.460	0.170
5	4	0.577	0.80	0.400	0.185
6	4	0.577	0.96	0.357	0.198
7	4	0.577	1.12	0.325	0.210
8	4	0.577	1.28	0.300	0.222
9	4	0.577	1.44	0.280	0.233
10	4	0.577	1.60	0.264	0.244
11	4	0.577	1.76	0.250	0.254
12	4	0.577	1.92	0.238	0.264
13	4	0.577	2.08	0.229	0.274
14	4	0.577	2.24	0.220	0.285
15	4	0.577	2.40	0.213	0.294
16	4	0.577	2.56	0.206	0.304
17	4	0.577	2.72	0.200	0.314
18	4	0.577	2.88	0.195	0.324
19	4	0.577	3.04	0.190	0.333
20	4	0.577	3.20	0.186	0.343
21	4	0.577	3.36	0.182	0.353
22	4	0.577	3.52	0.178	0.362
23	4	0.577	3.68	0.175	0.372
24	4	0.577	3.84	0.172	0.381
25	4	0.577	4.00	0.169	0.391
26	4	0.577	4.16	0.167	0.400
27	4	0.577	4.32	0.164	0.410
28	4	0.577	4.48	0.162	0.419
29	4	0.577	4.64	0.160	0.429
30	4	0.577	4.80	0.158	0.438
31	4	0.577	4.96	0.156	0.447
32	4	0.577	5.12	0.155	0.457
33	4	0.577	5.28	0.153	0.466
34	4	0.577	5.44	0.151	0.476
35	4	0.577	5.60	0.150	0.485

- De la tabla anterior se pueden elaborar gráficos estadísticos que nos permiten visualizar mejor los resultados, así tenemos:

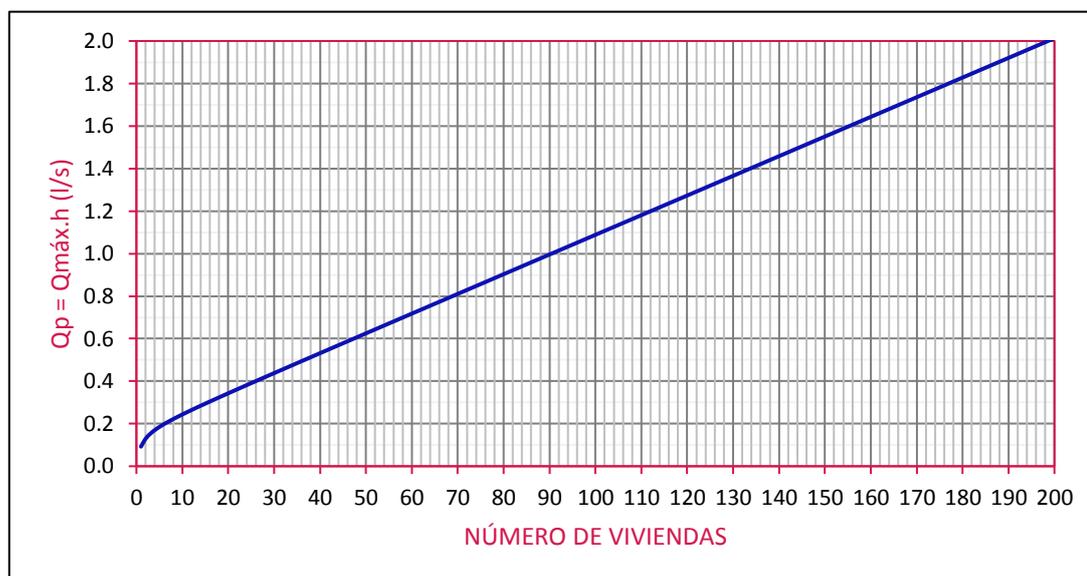


Gráfico 6: Cálculo del caudal máximo probable o máximo horario, por el “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”

- El caudal instantáneo máximo probable (**Qp**) es directamente proporcional a la población (número de viviendas), este Qp determinado por el nuevo criterio “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” se comporta como caudal unitario (Qunit.) si corresponde a una vivienda y como caudal máximo horario (Qmáx.h) en un ramal de la red de distribución que corresponda a una o más viviendas.
- La probabilidad de uso simultáneo de los aparatos sanitarios en cada vivienda **es constante**, es decir $R_1 = 0.577 = 57.7\%$, esto se ajusta al uso aproximado de solo 2 aparatos sanitarios en simultáneo por vivienda.
- En un grupo de viviendas la probabilidad de funcionamiento de estas en simultáneo **es variable**, para el caso de 10 viviendas, $R_2 = 0.264 = 26.4\%$, redondeando y resumiendo quiere decir **3 de 10 viviendas funcionando simultáneamente**.
- Este nuevo criterio propuesto “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” se justifica porque obedece al tipo de uso del agua, uso que depende de las costumbres de la población (ver análisis en el numeral 4.1 de este capítulo) y una de las costumbres más incidentes es que, en la zona

rural una misma vivienda por lo general no utiliza los aparatos sanitarios en simultáneo, por ello que este nuevo criterio adopta solo dos (2) aparatos sanitarios en uso simultaneo, entonces el caudal máximo posible en la hora punta ($q_{\text{máx}}$) para una vivienda es **0.16 L/s**, valor que se reduce al ser afectado por los coeficientes de simultaneidad R_1 y R_2 del nuevo criterio en mención (ver procedimiento completo en literal “c” del capítulo anterior). **En conclusión el Criterio propuesto ajusta el cálculo de caudal máximo probable (Q_p) o máximo horario ($Q_{\text{máx.h}}$) definido como una magnitud variable y redondeado a 3 cifras decimales desde 0.10 hasta 0.485 L/s para 01 y 35 viviendas respectivamente.**

- Del mismo modo el nuevo Criterio planteado antes mencionado, también se justifica porque sus resultados se asemejan a los del estudio de demanda de agua, así para 10 de 35 viviendas de la muestra (donde el estudio fue mediante micro medición de consumos) la razón entre los caudales calculados y los reales medidos ($Q_p/Q_{\text{máx.h real}}$) **fluctúan entre el 99% y 109%, excepto la fluctuación incompatible del 79% para el caso de una vivienda**, por lo que cuando se trate del caudal unitario (Q_{unit}) para una vivienda, en vez del caudal determinado por el nuevo criterio, puede adoptarse el caudal real medido **igual a 0.117 L/s**.
 - **El criterio planteado es un método probabilístico** basado en la simultaneidad de uso del agua, y **requiere de un análisis hidráulico en el régimen no permanente** (análisis dinámico) **o al menos un análisis en periodo extendido de la red, para cumplir con los caudales en cada ramal de la red** para un número determinado de viviendas.
- En cuanto al **Método de “La Simultaneidad”**, que también determina los caudales en la red de distribución, el mismo método es limitado para aplicarse a máximo 30 conexiones (viviendas), **al respecto se hace una crítica constructiva** a partir de la comparación de resultados en la siguiente tabla.

Tabla 19: Comparación de caudales en la red de distribución, determinados por tres métodos

Nº de viviendas	Caudal máximo probable o máximo horario ($Q_p=Q_{m\acute{a}x.h}$)		
	Real micro medido con medidores domésticos de agua	Por el “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”	Por el Método de “La Simultaneidad”
01	0.117	0.092	0.10
02	0.119	0.129	0.20
03	0.172	0.152	0.21
04	0.172	0.170	0.24
05	0.181	0.185	0.25
06	0.198	0.198	0.27
07	0.208	0.210	0.29
08	0.214	0.222	0.30
09	0.214	0.233	0.32
10	0.237	0.244	0.33
20	Solo se midió en 10 Viv.	0.343	0.46
30	Solo se midió en 10 Viv.	0.438	0.56
35	Solo se midió en 10 Viv.	0.485	No aplica
N	Su aplicación es infinita por ser un método real	Puede seguir aplicando, siempre que se tenga similares condiciones de uso del agua	

- La crítica constructiva al Método de La Simultaneidad es que, por sí solo no se ajusta a los resultados reales medidos ni al nuevo criterio planteado “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”, además que el método de La Simultaneidad no se aplica a más de 30 viviendas.
- Los resultados del Método de Simultaneidad sobredimensionan la red, lo que no sucede con el nuevo criterio “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”, que si bien este último se basa en el anterior, pero toma en cuenta más parámetros de modo que sus resultados se asemejan a los reales medidos, en consecuencia se acoge y recomienda el “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”.

4.4. DE LA ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN HORARIA K_2

- Los resultados se han obtenido a partir del nuevo criterio “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” para el cálculo de caudales en la red de distribución y de los resultados del estudio de demanda de agua de modo acumulativo; en función a ambos indicadores se proyecta dicho K_2 como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 20: Estimación del coeficiente de variación horaria de consumo K2, para la población rural Rosaspampa-Chalamarca-Chota de la región Cajamarca

I. DEL MÉTODO RACIONAL ADAPTADO A LA POBLACIÓN RURAL ROSASPAMPA		II. DEL ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA BASADO EN LA MICRO MEDICIÓN DE CONSUMOS CON MEDIDORES DOMÉSTICOS DE AGUA				III. ESTIMACIONES	
N (viviendas acumuladas)	Caudal máx. probable: Qp=Qmáx.h (l/s)	Dotación Promedio (l/per-día)	Densidad Promedio (per/vivienda)	Caudal máx. horario: Qmáx.h (l/s)	K ₂	Caudal medio diario pro. anual: Qmd (l/s)	Estimación del K ₂
1	0.092	95.40	6.00	0.117	17.69	0.0066	13.94
2	0.129	88.95	5.50	0.119	10.50	0.0113	11.42
3	0.152	84.72	5.67	0.172	10.30	0.0167	9.14
4	0.170	83.23	5.00	0.172	8.91	0.0193	8.82
5	0.185	81.54	5.00	0.181	7.68	0.0236	7.83
6	0.198	80.28	4.83	0.198	7.36	0.0269	7.35
7	0.210	79.50	4.57	0.208	7.06	0.0294	7.14
8	0.222	78.47	4.38	0.214	6.74	0.0318	6.97
9	0.233	77.17	4.22	0.214	6.31	0.0339	6.86
10	0.244	75.45	4.20	0.237	6.46	0.0367	6.64
11	0.254	80.00	4.20	---	---	0.0428	5.94
12	0.264	80.00	4.20	---	---	0.0467	5.66
13	0.274	80.00	4.20	---	---	0.0506	5.43
14	0.285	80.00	4.20	---	---	0.0544	5.23
15	0.294	80.00	4.20	---	---	0.0583	5.05
16	0.304	80.00	4.20	---	---	0.0622	4.89
17	0.314	80.00	4.20	---	---	0.0661	4.75
18	0.324	80.00	4.20	---	---	0.0700	4.63
19	0.333	80.00	4.20	---	---	0.0739	4.51
20	0.343	80.00	4.20	---	---	0.0778	4.41
21	0.353	80.00	4.20	---	---	0.0817	4.32
22	0.362	80.00	4.20	---	---	0.0856	4.23
23	0.372	80.00	4.20	---	---	0.0894	4.16
24	0.381	80.00	4.20	---	---	0.0933	4.09
25	0.391	80.00	4.20	---	---	0.0972	4.02
26	0.400	80.00	4.20	---	---	0.1011	3.96
27	0.410	80.00	4.20	---	---	0.1050	3.90
28	0.419	80.00	4.20	---	---	0.1089	3.85
29	0.429	80.00	4.20	---	---	0.1128	3.80
30	0.438	80.00	4.20	---	---	0.1167	3.75
31	0.447	80.00	4.20	---	---	0.1206	3.71
32	0.457	80.00	4.20	---	---	0.1244	3.67
33	0.466	80.00	4.20	---	---	0.1283	3.63
34	0.476	80.00	4.20	---	---	0.1322	3.60
35	0.485	80.00	4.20	---	---	0.1361	3.56

- El K_2 decrece considerablemente conforme aumenta el número de viviendas, siendo indirectamente proporcional al número de estas, varía desde 13.94 a 3.56 para 01 y 35 viviendas respectivamente; **proponiéndose considerarlo como una magnitud variable de 6.00 a 3.00** conforme varíen de 01 a 35 viviendas respectivamente y con densidad promedio de 4 a 5 per/viv.
- Si bien el K_2 determina al $Q_{\text{máx.h}}$, sin embargo este trabajo de investigación presenta resultados proyectados para ambos casos, es así que para la elaboración de proyectos de ingeniería relacionados al abastecimiento de agua y de condiciones similares, se pueden aplicar el K_2 proyectado o directamente el $Q_{\text{máx.h}}$ determinado.
- La proyección realizada, se justifica porque sus resultados se asemejan a los del estudio de demanda de agua mediante la micro medición de consumos, así para 10 de 35 viviendas de la muestra, la razón entre el K_2 estimado y el K_2 real (K_2 estimado / K_2 real) **fluctúa entre el 99% y 109%, excepto la fluctuación incompatible del 79% para el caso de una vivienda**, por lo que cuando se trate de una vivienda en vez del K_2 estimado puede adoptarse el K_2 real.
- De la tabla anterior se pueden elaborar gráficos estadísticos que nos permiten visualizar mejor los resultados, así tenemos:

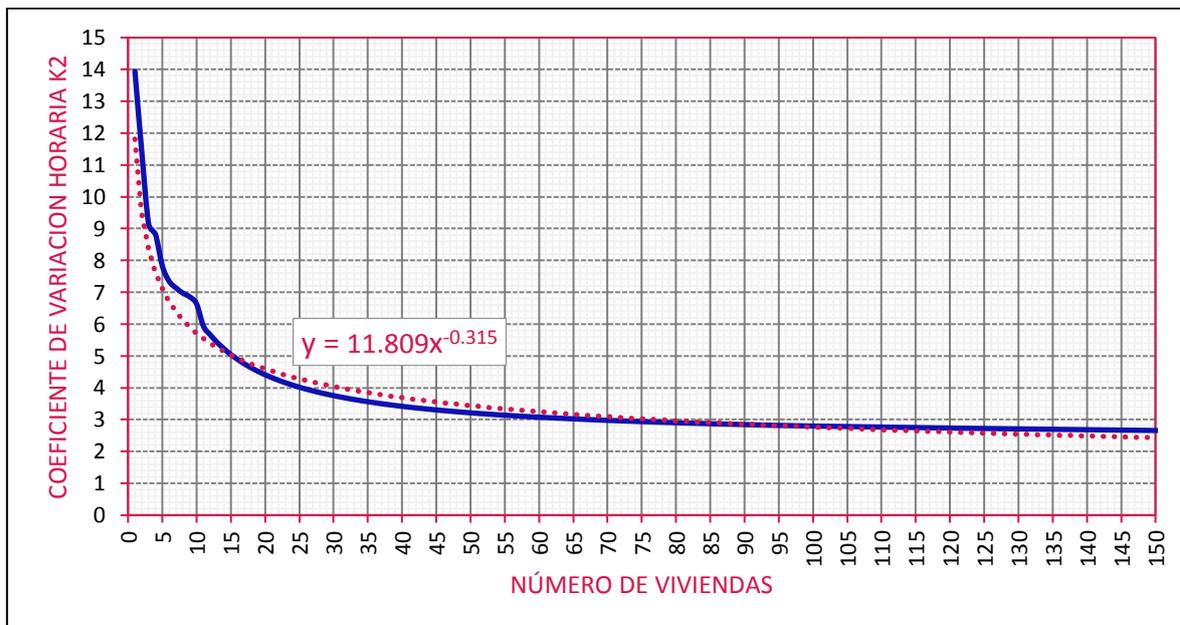


Gráfico 7: Estimación del coeficiente de variación horaria K_2 , en la población rural Rosaspampa de la región Cajamarca.

- Para las 10 primeras viviendas de modo acumulado, se emplea la dotación media y densidad media del estudio de demanda realizado, las cuales son reales y variables por ello que la curva aparece distorsionada, pero que se ajusta con la respectiva línea de tendencia del tipo potencial.
- A menor número de viviendas mayor K_2 , este decrece considerablemente conforme aumenta el número de viviendas.
- El valor estimado del K_2 **también podrá determinarse mediante la ecuación** de la línea de tendencia del tipo potencial: $y = 11.809X^{-0.315}$, donde "x" es la variable independiente que viene a ser el número de viviendas, "y" la variable dependiente que viene a ser el K_2 .

4.5. DEL COEFICIENTE DEL VOLUMEN DE REGULACIÓN DEL RESERVORIO

- Para el caso de los coeficientes empíricos, se infiere de las horas de no consumo según las variaciones horarias o ley de demanda horaria resumida en un solo día para todo el periodo de estudio, como se aprecia en la tabla.

Tabla 21: Ley de demanda horaria respecto a variaciones horarias resumidas en un solo día de consumo, para todo el periodo de estudio.

Tiempo (h)	Variaciones horarias resumidas en un solo día de consumo (q en l)	Variaciones horarias resumidas en % del día de consumo como uno solo	Coefficiente de la Ley de demanda horaria resumida en un solo día de consumo (q/q_{med})
00 - 01	0.00	0.00%	0.000
01 - 02	0.00	0.00%	0.000
02 - 03	0.00	0.00%	0.000
03 - 04	0.00	0.00%	0.000
04 - 05	0.00	0.00%	0.000
05 - 06	386.00	1.02%	0.244
06 - 07	2,871.00	7.55%	1.812
07 - 08	3,773.00	9.92%	2.381
08 - 09	3,181.50	8.37%	2.008
09 - 10	979.50	2.58%	0.618
10 - 11	2,935.00	7.72%	1.852
11 - 12	2,833.00	7.45%	1.788
12 - 13	2,748.50	7.23%	1.735
13 - 14	1,972.50	5.19%	1.245
14 - 15	3,266.50	8.59%	2.062
15 - 16	4,167.00	10.96%	2.630
16 - 17	2,167.50	5.70%	1.368
17 - 18	956.00	2.51%	0.603

18 - 19	2,055.00	5.40%	1.297
19 - 20	2,495.50	6.56%	1.575
20 - 21	1,166.00	3.07%	0.736
21 - 22	72.00	0.19%	0.045
22 - 23	0.00	0.00%	0.000
23 - 24	0.00	0.00%	0.000
TOTAL	38,025.50	100.00%	24.000

- De esa tabla se deduce un periodo de no uso del agua desde las 21 horas hasta las 06 horas, no obstante de las 21 a 22 horas y de las 05 a 06 horas los consumos son del 0.14% y 0.16% respectivamente, pero son mínimos por lo que el periodo de almacenamiento equivale a 09 de las 24 horas al día.
 - Por tanto el coeficiente empírico se definido como **$C = 9/24 = 37.50\%$ del Q_{md} como mínimo o del $Q_{m\acute{a}x.d}$ si este es menor o igual a caudal de la fuente** para un sistema de abastecimiento continuo. Entonces el volumen de regulación para la muestra es: $V = C * Q_{md} = 0.375 * 0.1361 \text{ L/s} = 4.410 \text{ m}^3/\text{día}$.
 - Calculando el **volumen de regulación** para la muestra total en estudio (35 viviendas), si de la Tabla 20 se tiene que $Q_{md} = 0.1361 \text{ l/s}$, entonces el volumen: $V = C * Q_{md} = 0.375 * 0.1361 \text{ l/s} = 4,409.64 \text{ l/día} = 4.410 \text{ m}^3/\text{día}$.
 - Como se aprecia en la Tabla 21 anterior, **el llamado coeficiente empírico se basa la ley de demanda horaria de consumo o patrón de consumo**, el mismo que concuerda con las costumbres de uso del agua de la población rural en estudio, **por tanto se puede afirmar que dicho coeficiente ya no sería tan empírico sino que tiende a ser racional y puede acogerse para ser aplicado como tal.**
- De otro modo **el coeficiente del volumen de regulación** del reservorio determinado **por el Método Analítico** en volúmenes y su variante en porcentajes, según Tablas 22 y 23 que se presentan a continuación, se basa exactamente en la ley de demanda horaria (Tabla 21), por lo que se puede afirmar que **es el método más preciso, además tiene la ventaja** de expresar las fluctuaciones del volumen del reservorio en cada hora del día.

Tabla 22: Cálculo del volumen de regulación por el método analítico en volúmenes para abastecimiento continuo

Muestra: 35 viviendas			Periodo: 24 horas (Abastecimiento continuo)					
Tiempo (h)	Qe = Qmd (l/s)	Ve (l)	Ley de demanda horaria resumida en un solo día de consumo (q/q_{med})	Qs = Qmáx.h (l/s)	Vs (l)	Ve - Vs (l)	Ve - Vs Acumulado (l)	Vmáx. (l)
0 - 1	0.1361	489.96	0.000	0.0000	0.00	489.96	489.96	2,066.96
1 - 2	0.1361	489.96	0.000	0.0000	0.00	489.96	979.92	2,556.92
2 - 3	0.1361	489.96	0.000	0.0000	0.00	489.96	1,469.88	3,046.88
3 - 4	0.1361	489.96	0.000	0.0000	0.00	489.96	1,959.84	3,536.84
4 - 5	0.1361	489.96	0.000	0.0000	0.00	489.96	2,449.80	4,026.80
5 - 6	0.1361	489.96	0.244	0.0332	119.37	370.59	2,820.39	4,397.39
6 - 7	0.1361	489.96	1.812	0.2466	887.83	-397.87	2,422.52	3,999.52
7 - 8	0.1361	489.96	2.381	0.3241	1,166.77	-676.81	1,745.72	3,322.72
8 - 9	0.1361	489.96	2.008	0.2733	983.85	-493.89	1,251.83	2,828.83
9 - 10	0.1361	489.96	0.618	0.0841	302.90	187.06	1,438.89	3,015.88
10 - 11	0.1361	489.96	1.852	0.2521	907.62	-417.66	1,021.22	2,598.22
11 - 12	0.1361	489.96	1.788	0.2434	876.08	-386.12	635.10	2,212.10
12 - 13	0.1361	489.96	1.735	0.2361	849.95	-359.99	275.11	1,852.11
13 - 14	0.1361	489.96	1.245	0.1694	609.98	-120.02	155.10	1,732.10
14 - 15	0.1361	489.96	2.062	0.2806	1,010.14	-520.18	-365.08	1,211.92
15 - 16	0.1361	489.96	2.630	0.3579	1,288.61	-798.65	-1,163.73	413.27
16 - 17	0.1361	489.96	1.368	0.1862	670.28	-180.32	-1,344.04	232.96
17 - 18	0.1361	489.96	0.603	0.0821	295.63	194.33	-1,149.72	427.28
18 - 19	0.1361	489.96	1.297	0.1765	635.49	-145.53	-1,295.25	281.75
19 - 20	0.1361	489.96	1.575	0.2144	771.71	-281.75	-1,577.00	0.00
20 - 21	0.1361	489.96	0.736	0.1002	360.57	129.39	-1,447.61	129.39
21 - 22	0.1361	489.96	0.045	0.0062	22.27	467.69	-979.92	597.08
22 - 23	0.1361	489.96	0.000	0.0000	0.00	489.96	-489.96	1,087.04
23 - 24	0.1361	489.96	0.000	0.0000	0.00	489.96	0.00	1,577.00
Sumas		11,759.04	24.000			11,759.04	0.00	
Volumen de Regulación = Vmáx. posible:				4,397.39	l/día o para 24 horas.			
Asimismo se tiene: Máximo déficit				-1,577.00	l, se presenta entre las 19 h y 20 h.			
Máximo superávit				2,820.39	l, se presenta entre las 05 h y 06 h.			
Entonces, Volumen de Regulación útil =				4,397.39	l/día o para 24 horas.			
I Máx. Déficit I + Máx. Superávit:				4.397	m ³ /día			
Determinando el porcentaje de regulación =				37.40%	del Qmd			
Volumen de regulación / Qmd :								
Finalmente el coeficiente de regulación C =				37.40%	del Qmd (Abastecimiento continuo)			

Tabla 23: cálculo del volumen de regulación por el método analítico en porcentajes para abastecimiento continuo

Muestra: 35 viviendas			Periodo 24 horas (Abastecimiento continuo)					
Tiempo (h)	Qe = Qmd (l/s)	Ve (%)	Ley de demanda horaria resumida en un solo día de consumo (q/q _{med})	Qs = Qmáx.h (l/s)	Vs (%)	Ve - Vs (%)	Ve - Vs Acumulado (%)	Vmáx (%)
0 - 1	0.1361	100.00	0.000	0.0000	0.00	100.00	100.00	421.86
1 - 2	0.1361	100.00	0.000	0.0000	0.00	100.00	200.00	521.86
2 - 3	0.1361	100.00	0.000	0.0000	0.00	100.00	300.00	621.86
3 - 4	0.1361	100.00	0.000	0.0000	0.00	100.00	400.00	721.86
4 - 5	0.1361	100.00	0.000	0.0000	0.00	100.00	500.00	821.86
5 - 6	0.1361	100.00	0.244	0.0332	24.36	75.64	575.64	897.50
6 - 7	0.1361	100.00	1.812	0.2466	181.20	-81.20	494.43	816.30
7 - 8	0.1361	100.00	2.381	0.3241	238.13	-138.13	356.30	678.16
8 - 9	0.1361	100.00	2.008	0.2733	200.80	-100.80	255.50	577.36
9 - 10	0.1361	100.00	0.618	0.0841	61.82	38.18	293.67	615.54
10 - 11	0.1361	100.00	1.852	0.2521	185.24	-85.24	208.43	530.29
11 - 12	0.1361	100.00	1.788	0.2434	178.81	-78.81	129.62	451.49
12 - 13	0.1361	100.00	1.735	0.2361	173.47	-73.47	56.15	378.01
13 - 14	0.1361	100.00	1.245	0.1694	124.50	-24.50	31.66	353.52
14 - 15	0.1361	100.00	2.062	0.2806	206.17	-106.17	-74.51	247.35
15 - 16	0.1361	100.00	2.630	0.3579	263.00	-163.00	-237.51	84.35
16 - 17	0.1361	100.00	1.368	0.1862	136.80	-36.80	-274.32	47.55
17 - 18	0.1361	100.00	0.603	0.0821	60.34	39.66	-234.66	87.21
18 - 19	0.1361	100.00	1.297	0.1765	129.70	-29.70	-264.36	57.50
19 - 20	0.1361	100.00	1.575	0.2144	157.50	-57.50	-321.86	0.00
20 - 21	0.1361	100.00	0.736	0.1002	73.59	26.41	-295.46	26.41
21 - 22	0.1361	100.00	0.045	0.0062	4.54	95.46	-200.00	121.86
22 - 23	0.1361	100.00	0.000	0.0000	0.00	100.00	-100.00	221.86
23 - 24	0.1361	100.00	0.000	0.0000	0.00	100.00	0.00	321.86
sumas		2,400.00	24.000		2,400.00	0.00		
Porcentaje de Regulación = Vmáx. (%):				897.50	% por día o 24 horas.			
Asimismo se tiene: Máximo déficit				-321.863	% , se presenta entre las 19 h y 20 h.			
Máximo superávit:				575.637	% , se presenta entre las 05 h y 06 h.			
Entonces, Porcentaje de Regulación = I Máx. Déficit I + Máx. Superávit:				897.50	% por día o 24 horas.			
Calculando porcentaje de regulación para un día = Porcentaje Regulación / 24								
Porcentaje de Regulación en un día (C):				37.40	%			
Calculando Volumen de Regulación = C*Qmd:				4,397.39	l/día			
				4.397	m ³ /día			

- El método Analítico en sus dos variantes, calcula un coeficiente de regulación **C = 37.40% del Qmd como mínimo o del Qmáx.d si este es menor o igual a caudal de la fuente** para un sistema de abastecimiento continuo. Entonces para la muestra: $V = C * Qmd = 0.374 * 0.1361 \text{ L/s} = 3.397 \text{ m}^3/\text{día}$.
 - Respecto al método Analítico, es importante precisar que el caudal de entrega al reservorio (**Qe**) corresponde al caudal producción de la fuente y que mínimamente debe ser igual al Qmd de la población, no obstante algunas bibliografías conforme al marco teórico consideran el volumen de regulación en base al Qmáx.d, puesto que el reservorio debe regular la demanda en el día de máximo consumo, **en consecuencia este trabajo de investigación considera al volumen de regulación en base al Qmd como mínimo o al Qmáx.d si este es menor o igual a caudal de la fuente.**
 - En cuanto al método Analítico, se comenta que, la diferencia entre volúmenes de entrega y salida del reservorio (**Ve – Vs**), refleja el volumen sobrante (superávit) o faltante (déficit) en cada hora tras el consumo de la población. En este caso el **máximo déficit se presenta** después que termina el periodo de mayor demanda (19 y 20 horas) y el **máximo superávit se presenta** después que termina el periodo de menor o no demanda (05 y 06 horas), para un sistema de abastecimiento continuo.
- Finalmente el **Método Analítico también permite determinar el coeficiente del volumen regulación para un abastecimiento por bombeo**; extrayendo los coeficientes de la ley de demanda horaria (Tabla 21) y **asumiendo un periodo** suficiente que abastezca la muestra de 35 viviendas, el mismo que **se distribuya en las horas de mayor demanda** para optimizar el volumen del reservorio (**de las 7 a 9 horas y de las 14 a 16 horas**). Entonces se obtiene el coeficiente de regulación del volumen de regulación para abastecimiento por bombeo, en la siguiente tabla.

Tabla 24: Cálculo del volumen de regulación por el método analítico en porcentajes para abastecimiento por bombeo

Qmd: 0.1361 L/s			Periodo: 4 horas (7-9 y 14-16, Abastecimiento por bombeo)					
Tiempo (h)	Qe = Qb (l/s)	Ve (%)	Ley de demanda horaria resumida en un solo día de consumo (q/q _{med})	Qs = Q _{máx} .h (l/s)	Vs (%)	Ve - Vs (%)	Ve - Vs Acumulado (%)	V _{máx} . (%)
0 - 1	0.0000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	205.57
1 - 2	0.0000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	205.57
2 - 3	0.0000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	205.57
3 - 4	0.0000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	205.57
4 - 5	0.0000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	205.57
5 - 6	0.0000	0.00	0.244	0.033	24.36	-24.36	-24.36	181.20
6 - 7	0.0000	0.00	1.812	0.247	181.20	-181.20	-205.57	0.00
7 - 8	0.8166	600.00	2.381	0.324	238.13	361.87	156.30	361.87
8 - 9	0.8166	600.00	2.008	0.273	200.80	399.20	555.50	761.06
9 - 10	0.0000	0.00	0.618	0.084	61.82	-61.82	493.67	699.24
10 - 11	0.0000	0.00	1.852	0.252	185.24	-185.24	308.43	514.00
11 - 12	0.0000	0.00	1.788	0.243	178.81	-178.81	129.62	335.19
12 - 13	0.0000	0.00	1.735	0.236	173.47	-173.47	-43.85	161.72
13 - 14	0.0000	0.00	1.245	0.169	124.50	-124.50	-168.34	37.22
14 - 15	0.8166	600.00	2.062	0.281	206.17	393.83	225.49	431.06
15 - 16	0.8166	600.00	2.630	0.358	263.00	337.00	562.49	768.05
16 - 17	0.0000	0.00	1.368	0.186	136.80	-136.80	425.68	631.25
17 - 18	0.0000	0.00	0.603	0.082	60.34	-60.34	365.34	570.91
18 - 19	0.0000	0.00	1.297	0.177	129.70	-129.70	235.64	441.21
19 - 20	0.0000	0.00	1.575	0.214	157.50	-157.50	78.14	283.70
20 - 21	0.0000	0.00	0.736	0.100	73.59	-73.59	4.54	210.11
21 - 22	0.0000	0.00	0.045	0.006	4.54	-4.54	0.00	205.57
22 - 23	0.0000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	205.57
23 - 24	0.0000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	205.57
Sumas	2,400.00		24.000		2,400.0	0.00		
Porcentaje de Regulación = V _{máx} . (%):				768.05	% para 24 horas			
Asimismo se tiene: Máximo déficit				-205.567	% , se presenta entre las 6 h y 7 h.			
Máximo superávit:				562.49	% , se presenta entre las 15 h y 16 h.			
Entonces, Porcentaje de Regulación = Máx. Déficit + Máx. Superávit:				768.05	%			
Calculando porcentaje de regulación para un día = Porcentaje Regulación / 24								
Porcentaje de Regulación en un día (C):				32.00	%			
Calculando Volumen de Regulación = C * Qmd:				3,763.15	l/día			
				3.763	m ³ /día			

- De la tala anterior se tiene un coeficiente **C = 32%** del Q_{md} como mínimo y del Q_{máx.d} si este fuese menor o igual al caudal de la fuente, **para un sistema de abastecimiento por bombeo de 04 horas (de las 7 a 9 horas y de las 14 a 16 horas).**
 - Se puede analizar que, **a mayor horas de bombeo menor porcentaje de regulación** (menor capacidad del tanque) **y viceversa**, es decir mientras se economiza con el tanque, la potencia de la bomba y tuberías, sube el tiempo de operación de la bomba y por ende el suministro de energía. Entonces el periodo de bombeo, depende del tiempo de operación de la bomba, las horas de suministro de energía, la potencia de la bomba a instalar, etc.
- En el caso del **coeficiente del volumen de regulación** por el **Método Gráfico**, si bien se basa en la curva de consumos acumulados y resumidos como un solo día para todo el periodo de estudio, **no es el más adecuado** porque sus cálculos provienen de la percepción visual, la cual está propensa al error, según la tabla y gráfico siguientes.

Tabla 25: Variaciones horarias acumuladas y resumidas en un solo día de consumo, para todo el periodo de estudio

Muestra: 10 de 35 viv. (estudio basado en micro mediciones de consumo)			
Tiempo (h)	Variaciones horarias resumidas en un solo día de consumo (l)	Variaciones horarias resumidas en % del día de consumo como uno solo	Variaciones horarias o Volumen acumulado (l)
0 - 1	0.00	0.00%	0.00
1 - 2	0.00	0.00%	0.00
2 - 3	0.00	0.00%	0.00
3 - 4	0.00	0.00%	0.00
4 - 5	0.00	0.00%	0.00
5 - 6	386.00	1.02%	386.00
6 - 7	2,871.00	7.55%	3,257.00
7 - 8	3,773.00	9.92%	7,030.00
8 - 9	3,181.50	8.37%	10,211.50
9 - 10	979.50	2.58%	11,191.00
10 - 11	2,935.00	7.72%	14,126.00
11 - 12	2,833.00	7.45%	16,959.00
12 - 13	2,748.50	7.23%	19,707.50
13 - 14	1,972.50	5.19%	21,680.00
14 - 15	3,266.50	8.59%	24,946.50
15 - 16	4,167.00	10.96%	29,113.50

16 - 17	2,167.50	5.70%	31,281.00
17 - 18	956.00	2.51%	32,237.00
18 - 19	2,055.00	5.40%	34,292.00
19 - 20	2,495.50	6.56%	36,787.50
20 - 21	1,166.00	3.07%	37,953.50
21 - 22	72.00	0.19%	38,025.50
22 - 23	0.00	0.00%	38,025.50
23 - 24	0.00	0.00%	38,025.50
Sumas	38,025.50	100.00%	

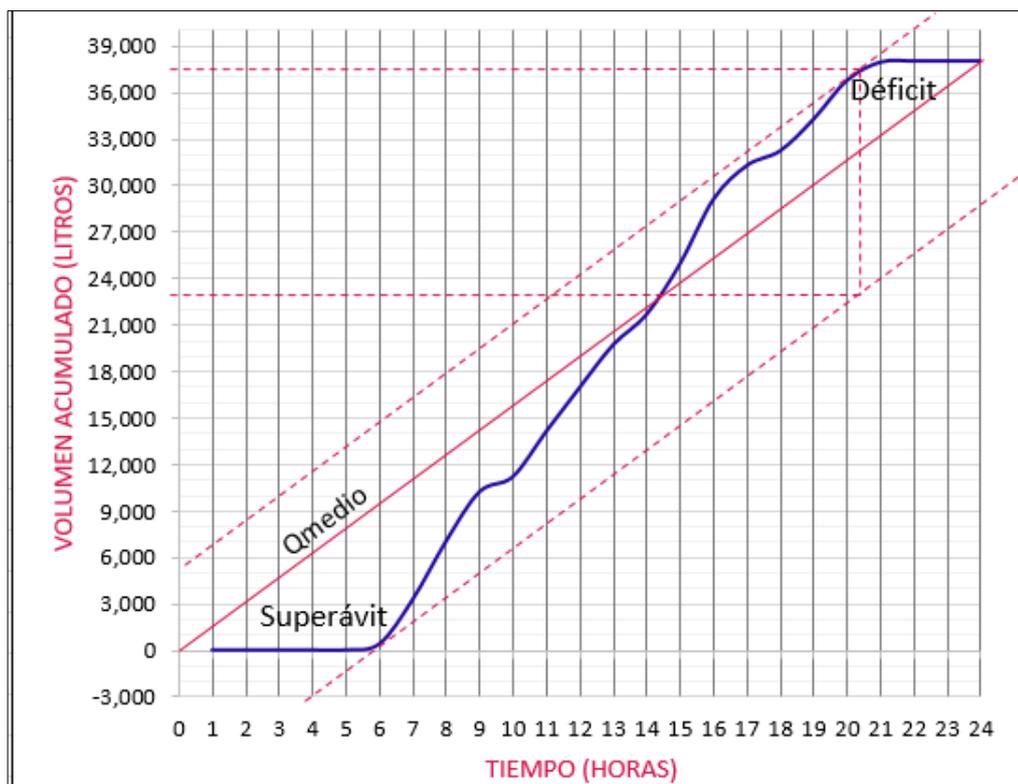


Gráfico 8: Cálculo del volumen de regulación por el método gráfico mediante la curva de masa o diagrama de Rippl

- A partir de este gráfico, la suma del máximo superávit y máximo déficit da el volumen de regulación (volumen que para este caso solo es referencial ya que los consumo se han resumido en un solo día para todo el periodo de estudio); pero el coeficiente de regulación será constante y es equivalente a **$C = 38.13\%$ del Q_{md} como mínimo y del $Q_{máx.d}$ si este fuera menor o igual al caudal de la fuente**, para un sistema de abastecimiento continuo.
- **Comparando los resultados del método Analítico con el Gráfico** se tienen coeficientes de regulación similares para un abastecimiento continuo, es decir

37.40% y 38.13% respectivamente; mientras que el coeficiente empírico es de **37.50%**. Los tres resultados concuerdan entre sí, con una diferencia máxima entre el mayor y el menor de 0.73%; y para efectos de aplicación se puede aplicar el Método Analítico por ser el más preciso que se basa exactamente en la ley de demanda horaria (Tabla 21).

- Sin embargo **es necesario considerar la capacidad de la red de distribución** (como lo indica una de las bibliografías en el capítulo III: Bases teóricas), afirmando que la red puede compensar o absorber cierto porcentaje de regulación. En ese sentido del análisis hidráulico de la red **se puede considerar como mínimo la capacidad o volumen acumulado en las acometidas domiciliarias más las matrices secundarias**, es decir las tuberías con diámetros de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ ", cuyo **volumen es igual a 0.86m^3** (ver inciso "f.5" del literal H del numeral 3.2: Metodología y la Imagen 6: Reporte del inventario de tuberías del numeral 4.6 siguiente), cabe precisar que **no se considera toda la capacidad de la red debido** a que las matrices principales abastecen a más viviendas de las que contempla la muestra y entonces no sería lógico considerar toda esa capacidad. **En efecto el volumen de regulación para el Método Analítico (método más preciso) disminuirá del siguiente modo: $4.397\text{m}^3 - 0.86\text{m}^3 = 3.537\text{m}^3/\text{día}$** , luego sabiendo que el $Q_{md} = 0.1361\text{L/s} = 11.759\text{m}^3/\text{día}$, entonces el coeficiente de regulación **$C = 3.57 / 11.759 = 30.08\%$** del Q_{md} para abastecimiento continuo.
- **En conclusión el coeficiente del volumen de regulación es un magnitud constante dentro del rango 30% a 40% del caudal medio diario como mínimo o del caudal máximo diario si este fuese menor o igual al caudal de la fuente, para abastecimiento continuo; en tanto que para el supuesto de abastecimiento por bombeo de 4 horas (7 a 9 horas y de 14 a 16 horas) dicho coeficiente deberá estar entre 25% a 30%.**

4.6. DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA RED Y LA VERIFICACIÓN DEL RANGO DE VELOCIDADES

- Los resultados obtenidos no son más que los **reportes del análisis del funcionamiento hidráulico** proporcionado por el software "Bentley WaterCAD V8i", en el cual según el tipo de análisis en el tiempo, se optó por el análisis en periodo extendido-EPS, el cual analiza las variaciones del flujo de una red dentro de un periodo de tiempo con demandas variables (ley de demanda horaria), es decir, encuentra una solución "continua" o "dinámica" para la red, el periodo de tiempo es de 1 a 24 horas y se divide en intervalos de 1 hora.
- A partir de ello **es suficiente verificar en dos periodos principales**, tanto en la hora de máxima demanda (a las 15 horas) como en la hora de menor o no demanda (entre las 22 y 05 horas), **los reportes hidráulicos más importantes son**, caso de tuberías: inventario de tuberías (diámetro, longitud y volumen), caudal, diámetros, rango de velocidades, pérdida de presión y pérdida de gradiente hidráulico; caso de nudos e hidrantes: presiones, demandas y gradiente hidráulico; caso de cámaras rompe presión: presión de ingreso y salida, y caudal.
- A continuación se **presentan los reportes para los casos descritos en el párrafo precedente**; asimismo **en el Anexo 5 se muestra la red gráfica con los resultados del análisis hidráulico en los periodos antes precisados**. No sin antes aclarar que, **solo se hace comentarios a los reportes de tuberías (imágenes 9 y 10)**, puesto que el último objetivo específico se centra en la verificación de velocidades en la red, y ello debido a que la velocidad tiene mayor discrepancia al ser comparada con las propuestas en las Normas de Saneamiento de Perú.

Bentley WaterCAD V8i (SELECTseries 4) [Rosaspampa WC.wtg]

Report Help

Rosaspampa WC.wtg

Pressure Pipe Inventory

	Diameter (mm)	Length (PVC) (m)	Length (All Materials) (m)	Volume (m³)
17.40 (mm)	17.40	1,142.78	1,142.78	0.27
22.90 (mm)	22.90	1,435.51	1,435.51	0.59
29.40 (mm)	29.40	887.73	887.73	0.60
All Diameters	All Diameters	3,466.03	3,466.03	1.47

Imagen 6: Reporte del inventario de tubería de presión

FlexTable: PRV Table (Current Time: 15.000 hours) (Rosaspampa WC.wtg)

	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Flow (L/s)	Pressure (From) (m H2O)	Pressure (To) (m H2O)
9437: CRP-1	CRP-1	2,870.00	29.40	0.30	47.82	0.00
9445: CRP-2	CRP-2	2,820.00	22.90	0.30	46.03	0.00
9446: CRP-3	CRP-3	2,770.50	22.90	0.30	47.37	0.00
9452: CRP-4	CRP-4	2,720.50	22.90	0.30	40.47	0.00
9456: CRP-5	CRP-5	2,671.00	22.90	0.30	42.42	0.00

5 of 5 elements displayed

Imagen 7: Reporte de cámaras rompe presión en hora de máx. demanda (T: 15 horas)

FlexTable: PRV Table (Current Time: 22.000 hours) (Rosaspampa WC.wtg)

	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Flow (L/s)	Pressure (From) (m H2O)	Pressure (To) (m H2O)
9437: CRP-1	CRP-1	2,870.00	29.40	0.00	49.90	0.00
9445: CRP-2	CRP-2	2,820.00	22.90	0.00	49.89	0.00
9446: CRP-3	CRP-3	2,770.50	22.90	0.00	49.40	0.00
9452: CRP-4	CRP-4	2,720.50	22.90	0.00	49.90	0.00
9456: CRP-5	CRP-5	2,671.00	22.90	0.00	49.40	0.00

5 of 5 elements displayed

Imagen 8: Reporte de cámaras rompe presión en hora de no demanda (T: 22 h)

	Start Node	Stop Node	Length (3D) (m)	Diameter (mm)	Material	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Pressure Loss (m H2O)	Headloss Gradient (%)
9374: TUB. 1...	J-1	H-2	13.35	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9399: TUB. 1...	J-1	H-1	282.93	17.40	PVC	0.00	0.00	0.01	0.00
9407: TUB. 3...	J-1	J-9	326.42	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9389: TUB. 1...	J-2	H-4	116.52	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9380: TUB. 1...	J-3	H-6	18.21	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9450: P-17	J-3	CRP-4	171.17	22.90	PVC	0.30	0.73	5.48	3.21
9402: TUB. 3...	J-4	J-7	104.16	22.90	PVC	0.30	0.73	3.33	3.21
9386: TUB. 1...	J-5	H-9	56.91	17.40	PVC	0.10	0.42	1.00	1.76
9391: TUB. 1...	J-5	H-8	150.69	17.40	PVC	0.10	0.42	2.64	1.76
9441: P-12	J-6	CRP-2	211.34	29.40	PVC	0.30	0.44	2.08	0.99
9396: TUB. 1...	J-7	H-10	242.39	17.40	PVC	0.10	0.42	4.25	1.76
9406: TUB. 3...	J-7	J-5	244.75	22.90	PVC	0.20	0.49	3.87	1.58
9403: TUB. 3...	J-8	J-3	100.23	22.90	PVC	0.30	0.73	3.21	3.20
9405: TUB. 3...	J-8	J-2	176.22	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9435: P-9	J-9	CRP-1	77.54	29.40	PVC	0.30	0.44	0.76	0.98
9436: P-10	CRP-1	J-6	181.54	29.40	PVC	0.30	0.44	1.79	0.99
9443: P-13	CRP-2	CRP-3	206.16	29.40	PVC	0.30	0.44	2.03	0.99
9444: P-14	CRP-3	J-8	77.22	29.40	PVC	0.30	0.44	0.75	0.98
9454: P-19	CRP-4	CRP-5	218.13	22.90	PVC	0.30	0.73	6.98	3.21
9455: P-20	CRP-5	J-4	94.14	22.90	PVC	0.30	0.73	3.02	3.22
9393: TUB. 1...	H-3	J-6	212.05	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9377: TUB. 1...	H-5	J-2	14.05	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9383: TUB. 1...	H-7	J-4	35.68	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9411: TUB 1...	R-1	J-9	133.94	29.40	PVC	0.30	0.44	1.32	0.99

24 of 24 elements displayed SORTED

Imagen 9: Reporte de tuberías en hora de máxima demanda (T: 15 horas)

- La mayores pérdidas de presión y por tanto las presiones mínimas se presentan en la hora de mayor demanda (a las 15 h.), en este caso la mayor pérdida de presión se presenta en el tramo CRP4-CRP5 con 6.98mca y una pérdida de gradiente hidráulico del 3.21%.
- Las velocidades y caudal en la hora de mayor demanda (a las 15 h.) son las máximas, precisando que solo funcionan en simultaneo 3 de 10 viviendas, ello gracias al nuevo criterio propuesto “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” que determina y distribuye mejor los caudales en la red ajustándolos a la realidad, en tal sentido solo los hidrantes H-8, H-9 y H-10 funcionan con la demanda máxima y los demás hidrantes no tienen demanda en esta hora.
- Finalmente se verifica que, la velocidad es una magnitud variable dentro del rango 0.42 y 0.73 m/s (para 10 de 35 viviendas de la muestra) y con diámetros de tubería aceptables (para 1 vivienda: 1/2”, 2 a 5 viv.: 3/4”, 6 a 30 viv.: 1”), pero cuando se tengan mayores tamaños de muestra, **la velocidad**

al ser verificada como una magnitud variable podrá oscilar dentro del rango 0.30 y 1.50 m/s. (rango también recomendado por algunas fuentes bibliográficas descritas en el Capítulo: Bases teóricas).

- Es importante reescribir lo manifestado por una de las fuentes bibliográficas [8], en una red de distribución que opera con gastos variables durante el día, no es posible lograr en todos los tramos y en todos los momentos una velocidad mínima, y esa condición no es obligatoria. Se tratará de cumplirla en lo posible para las tuberías de mayor diámetro, de tal manera que para las condiciones de demanda máxima horaria la velocidad mínima sea igual o mayor a 0.3 m/s.

	Start Node	Stop Node	Length (3D) (m)	Diameter (mm)	Material	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Pressure Loss (m H2O)	Headloss Gradient (%)
9374: TUB. 1...	J-1	H-2	13.35	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9399: TUB. 1...	J-1	H-1	282.93	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9407: TUB. 3...	J-1	J-9	326.42	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9389: TUB. 1...	J-2	H-4	116.52	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9380: TUB. 1...	J-3	H-6	18.21	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9450: P-17	J-3	CRP-4	171.17	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9402: TUB. 3...	J-4	J-7	104.16	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9386: TUB. 1...	J-5	H-9	56.91	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9391: TUB. 1...	J-5	H-8	150.69	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9441: P-12	J-6	CRP-2	211.34	29.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9396: TUB. 1...	J-7	H-10	242.39	17.40	PVC	0.00	0.00	0.01	0.00
9406: TUB. 3...	J-7	J-5	244.75	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9403: TUB. 3...	J-8	J-3	100.23	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9405: TUB. 3...	J-8	J-2	176.22	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9435: P-9	J-9	CRP-1	77.54	29.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9436: P-10	CRP-1	J-6	181.54	29.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9443: P-13	CRP-2	CRP-3	206.16	29.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9444: P-14	CRP-3	J-8	77.22	29.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9454: P-19	CRP-4	CRP-5	218.13	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9455: P-20	CRP-5	J-4	94.14	22.90	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9393: TUB. 1...	H-3	J-6	212.05	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9377: TUB. 1...	H-5	J-2	14.05	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9383: TUB. 1...	H-7	J-4	35.68	17.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00
9411: TUB. 1...	R-1	J-9	133.94	29.40	PVC	0.00	0.00	0.00	0.00

Imagen 10: Reporte de tuberías en hora de no demanda (T: 22 horas)

- Las menores pérdidas de presión y por tanto las presiones máximas se presentan en las horas de menor o no demanda (entre las 22 h y 05 h), y como aquí no existe demanda las pérdidas son igual a cero (0).
- Las velocidades y caudal en las horas de no demanda (entre las 22 h y 05 h) son iguales a cero (0), ya que no existe demanda.

FlexTable: Junction Table (Current Time: 15.000 hours) (Rosaspampa WC.wtg)

	Label	Demand (L/s)	Elevation (m)	Hydraulic Grade (m)	Pressure Head (m)
9375: J-1	J-1	0.00	2,871.00	2,918.68	47.68
9379: J-2	J-2	0.00	2,741.00	2,769.75	28.75
9381: J-3	J-3	0.00	2,741.50	2,766.53	25.03
9385: J-4	J-4	0.00	2,652.00	2,667.97	15.97
9387: J-5	J-5	0.00	2,623.00	2,660.75	37.75
9395: J-6	J-6	0.00	2,836.00	2,868.21	32.21
9397: J-7	J-7	0.00	2,623.00	2,664.63	41.63
9404: J-8	J-8	0.00	2,750.00	2,769.75	19.75
9408: J-9	J-9	0.00	2,873.00	2,918.68	45.68

9 of 9 elements displayed

Imagen 11: Reporte de nudos en hora de máxima demanda (T: 15 horas)

FlexTable: Junction Table (Current Time: 22.000 hours) (Rosaspampa WC.wtg)

	Label	Demand (L/s)	Elevation (m)	Hydraulic Grade (m)	Pressure Head (m)
9375: J-1	J-1	0.00	2,871.00	2,920.00	49.00
9379: J-2	J-2	0.00	2,741.00	2,770.50	29.50
9381: J-3	J-3	0.00	2,741.50	2,770.50	29.00
9385: J-4	J-4	0.00	2,652.00	2,671.00	19.00
9387: J-5	J-5	0.00	2,623.00	2,671.00	48.00
9395: J-6	J-6	0.00	2,836.00	2,870.00	34.00
9397: J-7	J-7	0.00	2,623.00	2,671.00	48.00
9404: J-8	J-8	0.00	2,750.00	2,770.50	20.50
9408: J-9	J-9	0.00	2,873.00	2,920.00	47.00

9 of 9 elements displayed

Imagen 12: Reporte de nudos en hora de no demanda (T: 22 horas)

FlexTable: Hydrant Table (Current Time: 15.000 hours) (Rosaspampa WC.wtg)

	Label	Elevation (m)	Demand (L/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure Head (m)
9499: H-1	H-1	2,873.00	0.00	2,918.69	45.69
9500: H-2	H-2	2,871.50	0.00	2,918.68	47.18
9501: H-3	H-3	2,827.00	0.00	2,868.22	41.22
9502: H-4	H-4	2,732.00	0.00	2,769.75	37.75
9503: H-5	H-5	2,740.00	0.00	2,769.75	29.75
9504: H-6	H-6	2,741.00	0.00	2,766.53	25.53
9505: H-7	H-7	2,652.00	0.00	2,667.97	15.97
9506: H-8	H-8	2,623.00	0.10	2,658.10	35.10
9507: H-9	H-9	2,621.40	0.10	2,659.75	38.35
9508: H-10	H-10	2,622.00	0.10	2,660.37	38.37

10 of 10 elements displayed

Imagen 13: Reporte de hidrantes en hora de máxima demanda (T: 15 horas)

	Label	Elevation (m)	Demand (L/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure Head (m)
9499: H-1	H-1	2,873.00	0.00	2,920.00	47.00
9500: H-2	H-2	2,871.50	0.00	2,920.00	48.50
9501: H-3	H-3	2,827.00	0.00	2,870.00	43.00
9502: H-4	H-4	2,732.00	0.00	2,770.50	38.50
9503: H-5	H-5	2,740.00	0.00	2,770.50	30.50
9504: H-6	H-6	2,741.00	0.00	2,770.50	29.50
9505: H-7	H-7	2,652.00	0.00	2,671.00	19.00
9506: H-8	H-8	2,623.00	0.00	2,670.99	47.99
9507: H-9	H-9	2,621.40	0.00	2,671.00	49.60
9508: H-10	H-10	2,622.00	0.00	2,671.00	49.00

Imagen 14: Reporte de hidrantes en hora de no demanda (T: 22 horas)

- Finalmente como análisis, vale la pena reescribir lo que una de las bases teóricas manifiesta ^[8], **el análisis de redes por computadora tiene ventajas importantes, como su factibilidad, bajo costo, y su sencillez.** La factibilidad radica en el hecho de que se dispone de computadoras lo suficientemente potentes y rápidas como para realizar los cálculos correctos en poco tiempo. Lo anterior, permite la evaluación de un mayor número de opciones de solución en poco tiempo a un costo accesible. El costo del análisis por computadora se refleja en consecuencia en el diseño de la red haciéndola más económica y eficiente. Asimismo, los costos de construcción, operación y mantenimiento son reducidos al ser la red más eficiente. La sencillez en el análisis permite una mayor concentración del analista y del operador en el funcionamiento de la red, lo cual redundará en una mejor comprensión del desempeño del sistema, así como en el desarrollo de mejores estrategias de operación bajo condiciones desfavorables.

4.7. CONSOLIDADO DE RESULTADOS COMPARADOS CON LOS ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS.

Para mayor facilidad de lectura e interpretación se hace un consolidado de todos los resultados del trabajo de investigación (población rural con tipo de consumo doméstico y saneamiento con arrastre hidráulico), comparándolo con los antecedentes teóricos y bases teóricas, donde los resultados que más discrepan son el K_2 , caudales en la red de distribución y el coeficiente de regulación del reservorio, como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 26: Consolidado de resultados comparado con los antecedentes y bases teóricas

PARAMETRO FUENTE	DOTACIÓN	K ₁	K ₂	CAUDALES EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN	COEFICIENTE DEL VOLUMEN DE REGULA.	VELOCIDADES EN LA RED DE DISTRIB.
Resultados de Tesis Profesional (2018). <i>Lineamientos para definir bases de diseño en sistemas a agua potable para poblaciones rurales en la Región Cajamarca, caso C.P.Rosaspampa.</i>	70 a 80 l/per-día (consumo doméstico y saneamiento con arrastre hidráulico)	1.20 a 1.60	6.00 a 3.00 (01 a 35 viviendas respectivamente con densidad promedio 4 a 5 per/viv)	0.10 a 0.485 L/s (01 a 35 viv. respectivamente), además propone el criterio "Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa"	30 a 40% del Q _{md} como mínimo, o del Q _{máx.d} si este es menor o igual al caudal de la fuente (abastecimiento continuo población rural)	0.30 a 1.50 m/s (análisis hidráulico en periodo extendido - EPS)
Ministerio de Servicios y Obras Públicas de Bolivia. (2005). <i>Guía técnica de diseño de proyectos de agua potable para poblaciones menores a 10,000 habitantes.</i>	70 a 90 l/hab-día (hasta 500 habitantes, zona de Los Llanos)	1.20 a 1.50	2.20 a 2.00 (hasta 2,000 habitantes)	Por métodos comunes (áreas, población, longitud equivalente) y además el método de La Simultaneidad	15 a 30% del Q _{máx.d} (abastecimiento continuo) y 15 a 25% del Q _{máx.d} (abastecimiento por bombeo)	0.30 a 2.00 m/s
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-CEPIS/OPS. (2005). <i>Guía para el diseño de redes de distribución en sistemas rurales de abastecimiento de agua. Guía para el diseño y construcción de reservorios apoyado.</i>	----	Solo presenta un valor referencial: 130% Q _{md}	Solo presenta un valor referencial: 200% Q _{md}	Por métodos comunes (áreas, población, longitud equivalente) y además el método de La Simultaneidad	Solo presenta un valor referencial: Mínimo 15% del Q _{md}	0.30 a 2.00 m/s. Recomienda 0.50 a 1.00 m/s.
Comisión Nacional del Agua-CNA. (2007). <i>Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario. Redes de distribución.</i>	100 L/per-día (clima templado y clase socioeconómica popular)	----	----	Por métodos comunes (áreas, población, longitud equivalente) especialmente para redes cerradas urbanas	14.6% del Q _{md} (en poblaciones urbanas pequeñas y 24 horas de suministro)	Mínimo 0.30 m/s Normales entre 0.60 y 1.50 m/s
Arocha, S. (1977). <i>Abastecimientos de agua.</i>	84 a 166 l/per-día (investigaciones sobre consumo de agua en el medio rural venezolano)	1.20 a 1.50 (Venezuela)	308 % a 141% (diferentes ciudades de Venezuela)	----	----	----
Azevedo, J. (1998). <i>Manual de Hidráulica.</i>	120 l/hab-d (consumo doméstico, Sao Paulo 1990)	1.20 a 1.50 (Brasil)	2.08 a 2.35 (ciudades Valinhos e Iracemápolis SP-Brasil)	----	----	----
Ezerskii, N.; Meléndez, G.; Flores, M. (2005). <i>Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades rurales.</i>	----	1.20 a 1.50 (basado en Normas del MINSA 1982 para población rural)	4.00 (basado en Normas del MINSA 1964 para poblaciones rurales menores a 1,000 hab.)	----	----	----
Lossio, M. (2012). <i>Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones.</i>	----	----	----	----	----	Menores a 0.60 m/s (aceptable en poblados rurales)

Marinof, N. (2001). <i>Abastecimiento de agua por gravedad para poblaciones rurales dispersas</i> , ONG ProAnde.	----	1.30 (DIGESA 1994, PRES 2000) hasta 400 familias	5.00 (poblaciones de 100 a 300 habitantes)	----	----	----
Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento de Perú. (2018). <i>RM n° 192-2018-VIV. Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural</i> .	80 l/hab-día (Región Sierra y saneamiento con arrastre hidráulico)	Solo presenta valores referenciales: 1.30	Solo presenta valores referenciales : 2.00	Por métodos comunes (áreas, población, longitud equivalente) y además el método de La Simultaneidad	Solo presenta valores referenciales: 25% del Qmd (abastecimiento continuo) 30% del Qmd (abastecimiento por bombeo)	----
Centro Internacional de Agua y Saneamiento-CIR. (1988). <i>Sistema de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades</i> .	----	1.10 a 1.30 (comunidades con uso doméstico)	1.50 a 2.00 (comunidades con uso doméstico)	----	20 a 40 % del Q _{máx.d} (abastecimiento continuo)	----
Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento de Perú. (2006). <i>Reglamento Nacional de Edificaciones. Normas OS.030, OS.050 y OS.100</i> .	En viviendas 120 l/hab-día (clima frío). 150 l/hab-día (clima templado y cálido)	Solo presenta valores referenciales: 1.30	Solo presenta valores referenciales : 1.80 a 2.50	----	25% del Qmd como mínimo (abastecimiento continuo)	Valores referenciales: Máximo 3 m/s y en caso justificado hasta 5 m/s
Agüero, R. (1997). <i>Agua potable para poblaciones rurales</i> .	----	----	----	----	25 a 30 % del Qmd (abastecimiento por gravedad, basado en el MINSA)	----
García, E. (2009). <i>Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales</i> . Fondo Perú-Alemania	----	----	----	----	25 % del Qmd (abastecimiento por gravedad)	----
Garzón, A. (2014). <i>Evaluación de patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá</i> .	----	----	----	Por nueve métodos probabilísticos incluido el real medido, el que más se ajusta al medido es el Método Racional o Español	----	----
Castro, N.; Garzón, J.; Ortiz, R. (2006). <i>Aplicación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones de diferente tipo</i> .	----	----	----	Por seis métodos probabilísticos incluido el real medido, el que más se ajusta al medido es el Método Racional o Español	----	----

Para efectos de diseño de un posible estudio definitivo sobre abastecimiento de agua potable para poblaciones rurales en la región Cajamarca, se recomienda aplicar las bases de diseño como son los parámetros básicos obtenidos en esta tesis, resultados que se muestran en la 1^{era} fila de la tabla anterior. En tanto que dichos resultados pueden aplicarse a otras poblaciones rurales cuyas condiciones más influyentes como el clima y las costumbres de la población sean similares.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- **La dotación promedio** más acertada viene a ser la acumulada para el total de la muestra, por corresponder al estudio como un solo sistema de agua lo cual se presenta en la realidad, así la dotación promedio para uso doméstico con saneamiento de arrastre hidráulico es de 75.45 l/per-día; y que por condiciones de mayor nivel de confianza **se plantea como una magnitud constante dentro del rango de 70 a 80 l/per-día**. Además es razonable considerar dicho rango para otras poblaciones rurales, siempre que el tipo de uso del agua sea de similares condiciones al de la población en estudio, como en el clima y en las costumbres.
- El coeficiente de variación diaria de consumo (K_1) decrece ligeramente conforme aumenta el número de viviendas, **puediéndose definir como una magnitud constante dentro del rango de 1.20 a 1.60**.
- Las variaciones de demanda diaria tiende a ser constante, aunque en los fines de semana es ligeramente superior a los días laborables.
- El coeficiente de variación horaria de consumo (K_2) decrece considerablemente conforme aumenta el número de viviendas, **en efecto debe considerarse como magnitud variable de 6.00 a 3.00 para 1 a 35 viviendas respectivamente** con densidad promedio de 4 a 5 per/viv.
- Las variaciones horarias durante el día de máximo consumo, son muy grandes entre las 05 y 22 horas, el consumo máximo se presenta entre las 15 y 16 horas del día de máximo consumo.
- Las variaciones horarias durante todo el periodo de estudio acumulado como un solo día de consumo, también son grandes entre las 05 y 22 horas y en dos picos más pronunciados, de las 7 a las 9 horas y de las 14 a 16 horas, aunque estas variaciones son de menor proporción respecto a las variaciones horarias en el día de máximo consumo.
- El K_2 obviamente es en función al caudal medio horario (Q_{mh}) de todo el periodo de estudio; sin embargo también se ha determinado un K_2 en función al Q_{mh} del día de máximo consumo (K_2 en día de máx. consumo), pues este último es siempre menor al primero, entonces da lo mismo calcular el caudal máximo horario $Q_{m\acute{a}x.h}$ en $f(K_2 \text{ y } Q_{md})$ o en $f(K_2 \text{ en día de máx. consumo y } Q_{m\acute{a}x.d})$.

- Para reducir la gran variabilidad del K_2 y tener uso racional de agua en poblaciones rurales, es necesario restringir el uso del agua, **es decir que el uso del agua debe tener micro medición y control.**
- Los **aforos de agua por el método volumétrico** en aparatos sanitarios, corresponden a un caudal unitario y estos son:
 - Pileta o lavadero multiusos (más representativo en cuanto al uso), tiene un caudal unitario de 0.12 a 0.18l/s; mínimo 0.10l/s en la hora de máx. consumo.
 - Ducha, su caudal promedio en la hora punta es de 0.08 l/s.
 - Lavatorio de manos, su caudal promedio en la hora punta es 0.09 l/s.
- En función a los aforos de caudal en los aparatos sanitarios y al tipo del uso de agua (doméstico) en el día de máximo consumo, la **dotación promedio de modo alternativo** es igual de 77.58 L/per-día, valor que se encuentra dentro del rango establecido (70 a 80 L/per-día) según el estudio de demanda de agua basado en la micro medición de consumos con medidores domésticos.
- El nuevo **Criterio planteado** denominado “**Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa**”, ajusta probabilísticamente el cálculo de caudales en la red de distribución como es el caudal instantáneo máximo probable, el cual se comporta como caudal máximo horario, esta magnitud siempre es variable, cuyos resultados van **desde 0.10 hasta 0.485 l/s para 01 y 35 viviendas respectivamente.** El Criterio propuesto constituye una buena alternativa para complementar un estudio de demanda de agua real con medidores domésticos.
- Según las observaciones en el estudio de demanda de agua y el “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”, la probabilidad de uso simultaneo de todo los aparatos sanitarios en cada vivienda es constante, es decir 57.7%, esto se ajusta al uso aproximado de solo 2 aparatos sanitarios en simultaneo por vivienda.
- Para el “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”, en un grupo de viviendas la probabilidad de funcionamiento en simultaneo es variable, así para 10 viviendas, es del 26.4%, redondeando y resumiendo quiere decir, 3 de 10 viviendas funcionando simultáneamente.
- El Criterio propuesto “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”, **justifica sus resultados porque se asemejan a los del**

estudio de demanda de agua mediante micro mediciones de consumo, así para 10 de 35 viviendas de la muestra, la razón entre los caudales calculados y los reales medidos ($Q_p/Q_{m\acute{a}x.h \text{ real}}$) fluctúan entre el 99% y 109%, excepto la fluctuación incompatible del 79% para el caso de una vivienda.

- Al contrastar el nuevo Criterio “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” con el Método de La Simultaneidad, el cual también determina los caudales en la red de distribución, se puede hacer la crítica constructiva: el método de La Simultaneidad por sí solo no se ajusta a los resultados reales medidos ni al nuevo criterio propuesto, además por definición La Simultaneidad no se aplica a más de 30 viviendas.
- Los resultados del Método de Simultaneidad sobredimensionan la red, lo que no sucede con el nuevo Criterio “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa”, que si bien este último se basa en el anterior, pero toma en cuenta más parámetros de modo que sus resultados se asemejan a los reales medidos.
- De la estimación del coeficiente de variación horaria de consumo (K_2), a partir del Criterio propuesto “Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa” y del estudio de demanda de agua basado en las micro mediciones de consumo. El K_2 puede ser estimado para mayor número de viviendas u otras poblaciones rurales, siempre que el tipo de uso del agua sea de similares condiciones (clima y costumbres de la población). Así el K_2 **obedece a la ecuación $y = 11.809X^{-0.315}$** , donde “x” es el número de viviendas e “y” viene a ser el K_2 .
- Los resultados de **los coeficientes del volumen de regulación para un abastecimiento continuo** por el método Analítico y el Gráfico son similares, es decir son **de 37.40% y 38.13% respectivamente**; mientras que el **coeficiente empírico es de 37.50%**. Los tres resultados concuerdan entre sí, con una diferencia máxima entre el mayor y el menor de 0.73%. Para efectos de aplicación se recomienda el Método Analítico, por ser el más preciso que se basa exactamente en la ley de demanda horaria (patrón de demanda), corresponde a un abastecimiento continuo por gravedad, además se incluye pérdidas de agua a nivel de viviendas, ya que el estudio es realizado directamente en las viviendas, en tanto que las pérdidas en la red de distribución

por fugas en tuberías averiadas y/o reboses no controlados se consideran mínimas, por ser una red pequeña.

- Para el cálculo del volumen de regulación del reservorio, los **coeficientes** deberán ser empleados **en función** al caudal medio diario (Qmd) como mínimo o del caudal máximo diario (Qmáx.d) si este fuese menor o igual a caudal de la fuente. Ello en concordancia a la definición siguiente, el caudal de entrega al reservorio corresponde al caudal producción de la fuente y que mínimamente debe ser igual al Qmd de la población, no obstante algunas bibliografías consideran el volumen de regulación en base al Qmáx.d, puesto que el reservorio debe regular la demanda en el caso extremo para el día de máximo consumo.
- Por otro lado **es importante considerar la capacidad de la red de distribución**, afirmando que la red puede compensar o absorber cierto porcentaje de la demanda. En ese sentido se puede considerar como mínimo la capacidad o volumen acumulado en las acometidas domiciliarias y las matrices secundarias. En efecto el **coeficiente del volumen de regulación** para el Método Analítico (método más preciso) **se reduce al 30.08%**.
- **Finalmente el coeficiente del volumen de regulación** se considera como una magnitud constante dentro del **rango 30% a 40%** del caudal medio diario como mínimo o del caudal máximo diario si fuese menor o igual al caudal de la fuente, para abastecimiento continuo; mientras que en un supuesto de abastecimiento por bombeo de 4 horas (de 7 a 9 horas y de 14 a 16 horas) dicho coeficiente deberá estar entre 25% a 30%.
- Respecto al análisis hidráulico de la red de distribución mediante el software "Bentley WaterCAD V8i", se optó por el análisis en periodo extendido-EPS, el cual analiza las variaciones del flujo de una red dentro de un periodo de tiempo con demandas variables (ley de demanda horaria o patrón de consumo), el periodo de tiempo es de 1 a 24 horas y se divide en intervalos de 1 hora. Este tipo de análisis obedece también a que el "Método Racional adaptado a la población rural Rosaspampa", es un método probabilístico basado en la simultaneidad de uso del agua, y requiere de un análisis hidráulico en el régimen no permanente (análisis dinámico) o al menos un análisis en periodo extendido, para cumplir con los caudales calculados en cada ramal de la red.

- Del análisis hidráulico se diferencia dos periodos principales, tanto en la hora de máxima demanda (a las 15 horas) como en la hora de menor o no demanda (entre las 22 y 05 horas), en cuanto a los resultados respecto al rango de velocidades se verifica que, la velocidad es variable desde 0.42 y 0.73 m/s, pero cuando se tengan mayores tamaños de muestra, **la velocidad al ser verificada como una magnitud variable podrá oscilar dentro del rango 0.30 y 1.50 m/s.**

5.2. RECOMENDACIONES

- Para efectos de diseño de un posible estudio definitivo sobre abastecimiento de agua potable para poblaciones rurales en la región Cajamarca, se recomienda aplicar las bases de diseño como son los parámetros básicos obtenidos en esta tesis. En tanto que dichos resultados pueden aplicarse a otras poblaciones rurales cuyas condiciones más influyentes como el clima y las costumbres de la población sean similares.
- Ampliar las investigaciones específicamente del estudio de demanda de agua, preferentemente en el periodo de 01 año o mínimamente en periodos de estiaje, para corroborar los resultados y afirmaciones de la presente; y así con mayor seguridad aplicar dichos resultados a estudios definitivos de proyectos de abastecimiento de agua en poblaciones rurales de la región Cajamarca.
- A las Autoridades Rectoras del Sector Agua y Saneamiento del país, como es el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, tomen en cuenta el presente trabajo de investigación para elaborar más estudios similares, y de obtener resultados adecuados, podrán contribuir o ser incorporados en Los Reglamentos y/o Normas de abastecimiento de agua para poblaciones rurales.
- Cuando se realice investigaciones referidas al tema, se recomienda hacer un previo diagnóstico a la población de estudio, de modo que estas sean accesibles socialmente, ante la invasión exagerada de su privacidad, cuando se realicen lecturas de consumo de agua hora a hora durante un periodo previsto.
- Para investigaciones futuras en el tema, se deben utilizar instrumentos más sofisticados para la micro medición de consumo de agua, de modo que se obtengan consumos horarios sin la necesidad efectuar lecturas de consumo directas hora a hora; así optimizar el personal capacitado y reducir la invasión a la privacidad de las viviendas en estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÜERO, R. (1997). *Agua potable para poblaciones rurales* (1ª ed.). Lima, Perú: Asociación Servicios Educativos Rurales-SER.
2. AROCHA, S. (1977). *Abastecimientos de agua* (2ª ed.). Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
3. AZEVEDO, J. (1998). *Manual de Hidráulica* (4ª reimpresión 2005, 8ª ed.). Universidad de Sao Paulo, Brasil: Edgar Blucher.
4. CASTRO, N., GARZÓN, J. & ORTIZ, R. (2006). *Aplicación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones de diferente tipo*. VI SEREA Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua. João Pessoa, Brasil.
5. CENTRO INTERNACIONAL DE AGUA Y SANEAMIENTO-CIR (1988). *Sistema de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades* (1ª ed.). (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-CEPIS, OPS/OMS, Trad.). La Haya, Holanda.
6. CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE-CEPIS / Organización Panamericana de la Salud-OPS (2005). *Guía para el diseño de redes de distribución en sistemas rurales de abastecimiento de agua* (1ª ed.). Lima, Perú.
7. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario* (ed. 2007). México.
8. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Redes de distribución* (3ª ed.). México.
9. EZERSKII, N., MELÉNDEZ, G. & FLORES, M. (2005). *Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades rurales*. (Trabajo de Investigación). Piura, Perú: EDIGRAP
10. GARCÍA, E. (2009). *Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales* (1ª ed.). Fondo Perú-Alemania. Lima, Perú.
11. GARZÓN, A. (2014). *Evaluación de patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá*. (Trabajo Final de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

12. LOSSIO, M. (2012). *Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones*. (Tesis de pregrado). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
13. MARINOF, N. (2001). *Abastecimiento de agua por gravedad para poblaciones rurales dispersas*. Experiencias con nuevas tecnologías, el caso de Poccontoy y Orconmarca. ONG ProAnde. Lima, Perú.
14. MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS / Sistema Nacional de Inversión Pública / Dirección General de Política de Inversiones – DGPI (2011). *Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos Saneamiento Básico en el Ámbito Rural, a Nivel de Perfil*. Perú.
15. MINISTERIO DE SERVICIOS Y OBRAS PÚBLICAS / Viceministerio de Servicios Básicos (2005). *Guía técnica de diseño de proyectos de agua potable para poblaciones menores a 10,000 habitantes*. Bolivia.
16. MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO / Dirección de Saneamiento / Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento (2018). *RM n° 192-2018-VIV*. Norma Técnica de Diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural. Perú.
17. MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones y sus modificatorias*. Normas OS.030- Almacenamiento de agua para consumo humano, OS.050-Redes de distribución de agua para consumo humano y OS.100-Consideraciones Básicas de diseño de infraestructura sanitaria. Perú.

ANEXOS

ANEXO 1: POBLACIÓN ESTIMADA POR LA DIRECCIÓN DE ESTADISTA E INFORMÁTICA DE LA DIRECCIÓN DE SALUD - DISA CHOTA.

ANEXO 2: REPORTE DE SENAMHI - PRECIPITACIÓN PLUVIAL DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO (MES NOVIEMBRE DEL 2016).

ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 2: Instalación del medidor de agua doméstico en la vivienda N° 01



Fotografía 3: Instalación de medidor de agua N° 01, con presencia del tesista



Fotografía 4: Medidor de agua doméstico N° 01 ya instalado



Fotografía 5: Medidor de agua doméstico N° 03 instalado por el tesista



Fotografía 6: Medidor de agua domestico N° 04 instalado por el tesista



Fotografía 7: Lectura de consumo en el medidor N° 01 y en una hora diurna



Fotografía 8: Lectura de consumo en el medidor N° 01 y en una hora nocturna



Fotografía 9: Vista general del medidor de agua doméstico N° 02



Fotografía 10: Lectura de consumo en el medidor N° 02 y en una hora diurna



Fotografía 11: Lectura de consumo en el medidor N° 04 y en una hora diurna



Fotografía 12: Lectura de consumo en el medidor N° 03 y en una hora diurna



Fotografía 13: Vista interior de SS-HH con arrastre hidráulico en vivienda N° 01



Fotografía 14: Aforo de lavadero multiusos-pileta por el método volumétrico



Fotografía 15: Aforo de ducha por el método volumétrico



Fotografía 16: Aforo de lavatorio de manos por el método volumétrico



Fotografía 17: Vista general de la vivienda N° 01, donde se ubica SS-HH y pileta



Fotografía 18: Actividades domésticas de uso del agua en la vivienda N° 02



Fotografía 19: Uso excepcional del agua para consumo animal, en el periodo de máximo estiaje

**ANEXO 4: ESTUDIO DE DEMANDA DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO
(FORMATO 1 POR VIVIENDA, FORMATO 2 POR VIVIENDA Y FORMATOS 3
POR VIVIENDAS ACUMULADAS)**

**ANEXO 5: RED DE DISTRIBUCIÓN CON RESULTADOS DEL ANÁLISIS
HIDRÁULICO EN PERIODO EXTENDIDO-EPS CON SOFTWARE
“BENTLEY WATERCAD V8i”.**