UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN

DIPLOMADO EN INSTALACIONES HIDROSANITARIAS EN EDIFICACIONES V.1

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO PROBABLE, RESPECTO AL MÉTODO HUNTER (RENISDA), EN LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES, EN LA CIUDAD DE POTOSÍ.

Monografía presentada para optar el Diplomado en Instalaciones Hidrosanitarias en Edificaciones.

AUTORA: MELINA SAAVEDRA MARCA

Sucre - Bolivia

2024

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme fuerza y sabiduría durante todo este proceso de investigación.

Expresar mi agradecimiento al docente de este diplomado, quien con su experiencia y estudios guio este trabajo de investigación hasta su culminación.

A mi familia, quienes me brindaron su amor y apoyo durante este proceso, ***GRACIAS*** *por creer siempre en mí.*

A todas las personas que participaron en este trabajo, su colaboración y ayuda fue esencial para la realización de este trabajo, ***MUCHAS GRACIAS*** *por su tiempo y disposición.*

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia y a mis pequeñas hijas quienes siempre han estado a mi lado, dándome la fuerza que necesito para seguir adelante cada día.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO PROBABLE, RESPECTO AL MÉTODO HUNTER (RENISDA), EN LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES, EN LA CIUDAD DE POTOSÍ.

RESUMEN

Poder determinar el caudal máximo probable (QMP), es importante y fundamental para el diseño de las redes de suministro de agua en las diferentes edificaciones.

Las metodologías de diseño de caudal máximo probable en edificaciones se basan en sustentaciones, empíricas, semiempíricas y probabilísticas, la mayoría estimadas hace muchos años con aparatos sanitarios de alto consumo, por lo que su implementación hoy en día involucra en la mayoría de los casos una sobre estimación del caudal estimado encareciendo los diseños de las instalaciones internas en las edificaciones.

Este trabajo de análisis de comparación, recopila, evalúa los diferentes métodos usados para determinar el caudal máximo probable (QMP) de redes de suministro de agua para edificaciones, descritos en distintas normativas donde se realiza una evaluación comparativa respecto al caudal aforado medido, que llega al usuario de la edificación residencial tipo de estudio.

Este análisis comparativo de métodos de cálculo de caudal máximo probable para la distribución de agua potable en edificaciones residenciales en la ciudad de Potosí se centra en evaluar la eficacia del Método Hunter (RENISDA) en comparación con los otros métodos de estudio existentes.

El fin es establecer la metodología que permita estimar con mayor certeza los consumos reales de agua según las necesidades de la población para una edificación tipo, en la ciudad de Potosí.

Palabras claves: Optimizar, caudal máximo probable, suministro de agua potable, aparatos sanitarios, edificaciones.

INDICE

CAPITULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1 ANTECEDENTES 1

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 2

1.2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA. 2

1.2.2 CAUSAS PROBABLES. 2

1.2.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. 3

1.3 OBJETIVOS. 3

1.3.1 OBJETIVO GENERAL. 3

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. 3

1.4 HIPÓTESIS. 4

1.5 JUSTIFICACIÓN 4

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO 5

2.1 GENERALIDADES 5

2.2 AGUA POTABLE 5

2.3 Sistema domiciliario de abastecimiento de agua potable 5

2.4 VELOCIDADES 6

2.5 CAUDAL Y PRINCIPIO DE CONTINUIDAD 7

2.6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS 7

2.6.1 Fórmula de Darcey – Weisback 7

2.6.2 Pérdidas por accesorios 8

2.7 DIMENSIONAMIENTO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE. 8

2.8 ESTIMACIÓN DE CONSUMO MÁXIMO PROBABLE. 10

2.9 UNIDADES DE GASTO (UG). MÉTODO DE HUNTER 10

2.10 CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES (METODO DE HUNTER) 12

2.11 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES 17

2.11.1 Método Empírico. 17

2.11.2 Método semi-empírico. 21

2.11.3 Métodos probabilísticos. 26

CAPITULO 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 31

3.1 METODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN 31

3.2 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO 31

3.2.1 Localización 31

3.2.2 Plano en planta de edificación residencial a ser estudiado. 32

3.3 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO PROBABLE PARA UNA EDIFICACION RESIDENCIAL TIPO 34

3.3.1 Método Británico. 34

3.3.2 Método Alemán de la Raíz Cuadrada 36

3.3.3 Método del Factor de Simultaneidad 36

3.3.4 Método Racional o español 38

3.3.5 Método Hunter RENISDA 39

3.3.6 Método de Hunter Colombiano 41

3.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS DE CALCULO DE CAUDAL MAXIMO PROBABLE (QMP) Y EL METODO HUNTER (RENISDA) 42

3.5 ANALISIS DE RESULTADOS 43

CAPITULO 4 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 45

4.1 Conclusiones 45

4.2 Recomendaciones 46

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.
Velocidades máximas admisibles en tuberías de agua potable (Tabla 1.5 RENISDA) 6
Tabla 2.
Demanda máxima de consumo por artefacto sanitario (Tabla 1.6 En RENISDA) 9
Tabla 3.
unidades de gasto por artefacto sanitario. Método de hunter (TABLA 1.8 – RENISDA). 13
Tabla 4.
Unidades de gasto para conjunto de artefactos sanitarios. método de hunter (TABLA 1.9 – RENISDA)..... 14
Tabla 5.
Caudales máximos probables. Método de hunter (TABLA 1.10 –RENISDA)..... 15
Tabla 6.
Descargas aproximadas para artefactos sanitarios en agua fría y agua. 17
Tabla 7.
Descargas simultaneas para muebles sanitarios 18
Tabla 8.
Gastos de diseño recomendados para pequeñas instalaciones hidráulicas en edificios de apartamentos y vivienda unifamiliar 19
Tabla 9.
Caudales mínimos para cada aparato..... 23
Tabla 10.
Caudales y presiones mínimas para cada aparato método racional. 25
Tabla 11.
Unidades de gasto de diferentes aparatos..... 29
Tabla 12.
Duración (t) y frecuencia (t) de uso..... 29

Tabla 13.
Caudal máximo probable Vs Unidades de consumo, Método de Hunter Colombiano. 30
Tabla 14.
Lista de artefactos sanitarios de la edificación. 33
Tabla 15.
Resumen de Caudal Aforado en Anexo A, de Edificación residencial Tipo..... 34
Tabla 16.
Evaluación caudal máximo posible Método Británico para edificación residencial tipo.... 35
Tabla 17.
Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos Edificio Residencial tipo 35
Tabla 18.
Resumen de caudales calculados por el método alemán de la raíz cuadrada vs caudal medido en edificio residencial tipo..... 36
Tabla 19.
Evaluación caudal máximo probable Método de Factor de simultaneidad para edificación residencial tipo..... 37
Tabla 20.
Resumen de caudales calculados por el Método de Factor de Simultaneidad vs caudal medido en edificio residencial tipo..... 38
Tabla 21.
Evaluación caudal máximo probable Método racional, para edificación residencial tipo. . 38
Tabla 22.
Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudal medido en edificio residencial tipo..... 39
Tabla 23.
Evaluación caudal máximo probable Método Hunter RENISDA, para edificación residencial..... 40

Tabla 24.
Resumen de caudales calculados por el Método Hunter RENISDA vs caudal medido en edificio residencial tipo..... 41
Tabla 25.
Evaluación caudal máximo probable Método Hunter Colombiano para edificación residencial tipo..... 41
Tabla 26.
Resumen de caudales calculados por el Método Hunter Colombiano vs caudal medido en edificio residencial tipo..... 42
Tabla 27.
Resumen de resultados 43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.
Curva de caudal máximo probable método de HUNTER UNAL (de 0 a 1000 unidades)...... 28

Figura 2.
Curva de caudal máximo probable método de HUNTER UNAL (de 0 a 10000 unidades) 28

Figura 3.
Croquis de ubicación de la edificación residencial de estudio. 31

Figura 4.
PLANTA BAJA: Tiendas, Baños, garaje. 32

Figura 5.
planta TIPO - 1° a 3° piso: Departamentos TIPO (dormitorios, baño, cocina)..... 32

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO PROBABLE, RESPECTO AL MÉTODO HUNTER (RENISDA), EN LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES, EN LA CIUDAD DE POTOSÍ.

CAPITULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

La estimación de los caudales máximos probables de diseño para el suministro de redes de agua potable en edificaciones en nuestro país, se ha venido realizando por medio de la aplicación del método de probabilidades de Roy Hunter, propuesto en 1940, una de las dificultades de las normativas es adecuar el método Hunter a las condiciones actuales, de acuerdo con estudios recientes realizados se ha demostrado que los caudales de diseño difieren significativamente de los consumos reales en dichas edificaciones.

Uno de los campos de interés creciente de estudio, es el relacionado con la optimización de los métodos de diseño para redes internas de suministro de agua potable en edificaciones (Aksela & Aksela, 2011). Todos los métodos de diseño para definir diámetros de tubería, son dependientes del máximo caudal que puede ser esperado en un tramo de la red de un edificio (Castro et al., 2006), es decir, el caudal correspondiente considerando el uso normal probable de los aparatos sanitarios instalados en un instante dado. En caso de las instalaciones potables en edificaciones es importante tener en cuenta que no todos los aparatos sanitarios son utilizados al mismo tiempo (Pancorbo, 2011), aunado al hecho que se usan de maneras diferentes según el tipo de edificación, en función también de factores constructivos.

En la actualidad el incremento de la población, la escases de recursos, ha ocasionado que la industria busque innovar, llevando al mercado nuevos artefactos sanitarios con mayor eficiencia, haciendo que con el tiempo existan nuevas investigaciones que pongan en duda la permanencia del uso del método Hunter, como método de cálculo de caudal Máximo probable (QMP)

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

Los escases de agua y racionamiento de este líquido elemento en los diferentes departamentos de Bolivia y en especial en la ciudad de Potosí, hace necesario el buscar nuevos métodos que ayuden a optimizar y ahorrar el uso del agua.

A medida que los años pasan la humanidad incrementa y con ella su mentalidad de cuidado del medio ambiente, aplicando tecnologías para crear elementos que ahorren el uso del agua, disminuyendo de esta forma el consumo inadecuado del mismo. Sin embargo, para diseñar una red de distribución de agua, aún se emplea metodologías antiguas, sin considerar que se cuentan con artefactos sanitarios modernos y eficientes.

En Bolivia, existe poca información sobre los consumos reales de las diferentes edificaciones. El no contar con datos de consumo que se aproximen a lo real, dificulta contrastar los valores de caudal máximo probable teórico, contra los consumos reales presentes, por lo que es necesario poder contar con un método de cálculo que sea optimo y se asemeje al consumo real.

Por lo tanto, no se cuenta con información fiable sobre la necesidad o no de personalizar los métodos de cálculo, tal cual lo han hecho otros países como Colombia (Castro et al., 2006), donde se tiene normado el método Hunter Colombia.

La importancia de ahorrar y tener un uso racional del agua, hace necesario el poder implementar Métodos que puedan coadyuvar a mejorar el Cálculo de Caudal Máximo Probable (QMP), en el diseño de sistemas de distribución de agua potable en edificaciones, evitando así el eventual sobredimensionamiento de las tuberías que se pueda dar por el uso de métodos teóricos que considerablemente sobreestimen la demanda. Ya que en la actualidad el agua, es un problema crucial tanto en los aspectos económicos, políticos, sociales y ecológicos.

1.2.2 CAUSAS PROBABLES.

Se identificó la siguiente causa probable:

Sobredimensionamiento de las tuberías por falta de adecuación del método Hunter (RENISDA) a las condiciones actuales.

El método Hunter, fue establecido por el Dr. Roy Hunter en 1940, quien realizó una serie de investigaciones que finalizaron en la publicación "Methods of Estimating Loads in Plumbing System" y se basaron en la probabilidad que uno o varios aparatos funcionen simultáneamente, en aquel tiempo.

La disparidad entre los actuales artefactos de alta eficiencia y el modelo probabilístico (de Hunter) ha dado lugar al sobredimensionamiento de las redes de tuberías, lo que aumenta el consumo de agua en las edificaciones. (Hobbs et al., 2019).

1.2.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Qué método de cálculo de caudal máximo probable, se ajusta mejor a las condiciones propias de consumo en la distribución de agua potable en edificaciones residenciales, en la ciudad de Potosí?

1.3 OBJETIVOS.

Los objetivos considerados son los siguientes:

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

"Realizar un análisis comparativo de métodos de cálculo de caudal máximo probable, respecto al método Hunter (RENISDA), y determinar cuál se ajusta mejor a las condiciones propias de consumo de la población en una edificación residencial, en la ciudad de Potosí.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

a) Realizar un estudio teórico, sobre los métodos para cálculo de caudal máximo probable según normativa y/o reglamento internacional y Hunter de RENISDA[1]

[1] Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias

b) Realizar aforo de datos de consumo de agua por medio de mediciones monitoreo en edificio tipo, ubicado en la ciudad de Potosí, para obtener parámetros de: Frecuencia de uso, tiempo de funcionamiento y el gasto de cada aparato sanitario.
c) Realizar un resumen en una tabla descriptiva sobre cada aparato sanitario que se usa, considerando los datos obtenidos por el aforo.
d) Determinar el caudal máximo probable, en función de las unidades de gasto (UG) para cada tipo de método a ser evaluado, respecto al modelo probabilístico de Hunter (RENISDA), considerando los diferentes parámetros del edificio en estudio.
e) Analizar y evaluar los resultados de los diferentes métodos utilizados para calcular el caudal máximo probable vs Método Hunter utilizado en RENISDA
f) Determinar cuál es el método más eficiente y optimo, que se asemeje más a las condiciones de consumo de agua real.

1.4 HIPÓTESIS.

Se puede mejorar el cálculo de caudal máximo probable, aplicando una metodología que estime con mayor certeza los consumos reales de agua potable, y determine un dimensionamiento óptimo de las tuberías, haciendo más eficiente las instalaciones hidrosanitarias y disminuir costos.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Cuidar el agua es una obligación, considerando que el mismo es un recurso escaso, vulnerable, esencial para la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Por lo tanto, es necesario poder aplicar métodos que ayuden a optimizar el uso de este vital elemento, de esta manera poder proponer una alternativa para actualizar y/o mejorar el método Hunter (RENISDA), donde las unidades de gasto (UG) sean los adecuados y permitan determinar caudales que se aproximen a la realidad, considerando la innovación tecnológica para la fabricación de tuberías, válvulas, artefactos y equipos hidráulicos y sanitarios más eficientes.

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

El agua es elemento vital para la vida de todo ser vivo, por tanto, es una necesidad para la humanidad.

Poder determinar una distribución adecuada y eficiente del agua potable, para los diferentes usuarios de una región, debe ser una prioridad de las instituciones encargadas de realizar el mismo, considerando que en la actualidad varias regiones del mundo sufren escases de este líquido elemento.

Por tanto, esta monografía, está destinada a determinar cuál metodología de cálculo de Caudal Máximo Probable, es el adecuado en comparación del método utilizado en Bolivia, mediante el Reglamento de RENISDA (Método HUNTER).

A nivel internacional son aplicados varios métodos de cálculo que buscan optimizar el uso del agua, que serán estudiados dentro de esta.

2.2 AGUA POTABLE

El agua es elemento vital para la vida de todo ser vivo, por tanto, es una necesidad para la humanidad.

El agua potable es aquella que, por sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, se considera apta para consumo humano y que cumple con lo establecido en la NB 512. (RENISDA, 2011)

2.3 SISTEMA DOMICILIARIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Un Sistema de distribución del agua encierra a todos los puntos de consumo de una vivienda o edificación, comprendiendo los ramales, montantes de agua, tanques, tuberías de succión, impulsión, etc.

2.4 VELOCIDADES

La velocidad de circulación de flujo en las tuberías de distribución de agua, se miden en m/seg, según el sistema internacional, el cálculo del mismo es importante como se menciona en el reglamento porque:

1). A objeto de limitar la generación de ruidos y sedimentación de sólidos en las tuberías, la velocidad de flujo en los conductos o tuberías de distribución de agua no deberá ser mayor a las indicadas en la Tabla 1.5, para las condiciones de máxima demanda probable. La Tabla 1.5, indica las velocidades máximas admisibles y caudales máximos en función al diámetro de la tubería. En sistemas de agua caliente con recirculación continua la velocidad de flujo no deberá exceder los 0,60 m/s.

Tabla 1.

Velocidades máximas admisibles en tuberías de agua potable (Tabla 1.5 RENISDA)

Diámetro nominal DN	Velocidad máxima	Caudal máximo
mm	m/s	L/s
15	1,6	0,2
20	2,0	0,6
25	2,3	1,2
40	2,5	4,0
50	2,5	5,7
60	2,5	8,9
75	2,5	12,0
100	2,5	18,0

Fuente: *Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias*

2). La velocidad mínima en un conducto o tubería de distribución de agua potable no deberá ser menor a 0,60 m/s.

(RENISDA, 2011).

2.5 CAUDAL Y PRINCIPIO DE CONTINUIDAD

El caudal es la cantidad de fluido que pasa por la sección de un conducto por unidad de tiempo, sus unidades generalmente son litros/segundos.

$$Q = v * \frac{\pi * \emptyset^2}{4}$$

Dónde:

$\emptyset$ = El diámetro de la tubería

V = La velocidad interna del fluido.

2.6 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN TUBERÍAS Y ACCESORIOS

Existen diversas metodologías de cálculo de pérdidas en tuberías, pero en este trabajo nos enfocaremos en la metodología de Darcey - Weisback

2.6.1 Fórmula de Darcey – Weisback.

$$Hf = f * \frac{L}{\emptyset} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

Hf = Pérdida de carga debida a la fricción.

f = Factor de fricción de Darcy. (adimensional)

L = Longitud de la tubería. (m)

$\emptyset$= Diámetro interno de la tubería. (m)

v= Velocidad media del fluido. (m/s)

g = Aceleración de la gravedad

2.6.2 Pérdidas por accesorios

$$Hf = K * \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

Hf = Pérdidas por accesorios

K = Constante de cada elemento.

2.7 DIMENSIONAMIENTO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.

Realizar un dimensionamiento adecuado de las redes de distribución de agua potable es importante, para garantizar el suministro d de agua suficiente para los usuarios de las viviendas, edificaciones, etc.

Por tanto, esto debe implicar un equilibrio entre la eficiencia, la seguridad sanitaria, cubrir la demanda total de los usuarios, basándose en normativas y reglamentos establecidos.

Como menciona el Reglamento implementado en Bolivia.

> "Las redes de distribución de agua deberán ser diseñadas para satisfacer la demanda máxima probable de los diferentes puntos de consumo o utilización." (RENISDA, 2011)

El mismo, muestra Tablas, donde se determinan los caudales de consumo máximo de cada artefacto sanitario, (Tabla 1.6, de la página 126, del Reglamento).

Tabla 2.

Demanda máxima de consumo por artefacto sanitario (Tabla 1.6 en RENISDA)

Artefacto	L / min
Lavamanos con medidor de caudal	0,95
Lavamanos con cierre automático	1,89
Bebedero (Chorro)	2,84
Lavamanos corriente	9,46
Tina de baño, 15 mm	18,93
Ducha, 15 mm	9,46
Lavandería, 15 mm	9,46
Máquina de lavar ropa (3,50 a 7 kg), lavadora	15,14
Inodoro c/tanque de gravedad	11,36
Inodoro c/válvula de descarga de 15 mm , 11 mca de presión (0,11 Mpa)	56,78
Inodoro c/válvula de descarga de 25 mm , 11 mca de presión (0,11 MPa)	102,20
Inodoro c/válvula de descarga de 25 mm , 18 mca de presión (0,18 MPa)	132,48
Urinario corriente	5,68
Urinario con válvula de descarga	45,42
Lavaplatos o pileta de cocina 15 mm	17,03
Lavaplatos o pileta de cocina 20 mm	22,71
Máquina doméstica de lavar platos	15,14
Grifo de riego de 15 mm	18,93
Pileta de servicio de 20 mm	22,71

Fuente: *National Plumbing Code, 2006*

2.8 ESTIMACIÓN DE CONSUMO MÁXIMO PROBABLE.

Estimar el Caudal Máximo Probable, para diseñar los sistemas de abastecimiento de agua para edificios, es asegurar el abastecimiento adecuado de agua a todos los accesorios sanitarios en todo tiempo y lograr el dimensionamiento óptimo, económico de la tubería.

El máximo caudal probable se va a producir cuando se encuentre los edificios, con la mayor cantidad de habitantes o usuarios haciendo un uso activo de los mismos (Pancorbo, 2011).

Según el Reglamento de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias indica que

> 1). Las redes domiciliarias de agua potable, se diseñarán para la demanda máxima probable aplicando el método probabilístico de Hunter, considerando que no todos los puntos de consumo de una red se encuentran en plena utilización ni en funcionamiento continuo. El método de Hunter asigna un peso específico, unidades de gasto (UG), a cada artefacto sanitario operando en forma intermitente, considerando su efecto en el funcionamiento de la red en términos de caudal y consumo.
>
> 2). Dos o más artefactos sanitarios podrán sumarse en sus unidades de gasto para determinar su efecto combinado en el sistema de distribución domiciliaria. Con las UG encontradas se podrán determinar los caudales máximos probables en cada punto de la red.
>
> 3). Las "Tabla 3", presenta una actualización del método de Hunter que introduce el empleo de artefactos de bajo consumo y diferentes categorías de inmuebles de acuerdo al grado de utilización de los artefactos sanitarios.
>
> (RENISDA, 2011)

2.9 UNIDADES DE GASTO (UG). MÉTODO DE HUNTER

Las unidades de gasto son valores que se asignan a los diferentes aparatos sanitarios en una red de distribución de agua. Estos valores representan la cantidad de agua que se espera que cada aparato consuma en un período de tiempo determinado. El método de los gastos probables, desarrollado por Roy B. Hunter, utiliza estas unidades de gasto para calcular el caudal necesario en una red de distribución interior de agua. Es una forma práctica de dimensionar las tuberías y asegurar que cada aparato tenga suficiente suministro de agua

Según el reglamento RENISDA, asignan Unidades de gasto (UG), tanto por artefacto sanitario, como para un conjunto de artefactos sanitarios.

Consideraciones por artefacto sanitario:

- La demanda pico de un inmueble con un sistema de distribución alimentando a múltiples artefactos sanitarios, se diseña considerando el uso discontinuo de los mismos, el tipo de artefacto sanitario, los patrones de utilización y el número de artefactos instalados que pueden ser utilizados simultáneamente en el inmueble.
- Los valores de UG asignados para diferentes tipos de artefactos e inmuebles se muestran en la "Tabla 3". Los valores de esta tabla representan el factor de demanda de agua potable del artefacto o punto de consumo en el sistema de agua potable de un inmueble.
- Para artefactos que tienen tanto un suministro de agua potable fría como caliente, los valores individuales representan 3/4 del valor total asignado a cada artefacto, con redondeo a la cifra inmediata superior.
- La "Tabla 3" incluye cuatro columnas considerando diferentes tipos de utilización de inmuebles: 1) viviendas unifamiliares o edificios de vivienda de dos departamentos, 2) edificios con tres o más departamentos, 3) otros inmuebles que tengan un uso diferente al de la vivienda como locales comerciales, públicos, institucionales y similares, y 4) edificios de alta frecuencia de utilización de artefactos sanitarios como locales deportivos, de espectáculos y similares. El concepto de este nuevo enfoque radica en el hecho de que la demanda máxima probable, depende del tipo de ocupación del inmueble en el cuál estarán funcionando artefactos sanitarios de diverso tipo. Para instalaciones de agua potable de alta ocupación, el proyectista deberá considerar el funcionamiento del 100% de los puntos de consumo.
- Para inmuebles de usos diferentes a los considerados en la Tabla 1.8, el proyectista deberá aplicar su propio juicio y experiencia para la determinación de las unidades de gasto.

Consideración para un conjunto de artefactos sanitarios método de hunter

- La "Tabla 4" muestra un listado de UG para grupos típicos de artefactos sanitarios en baños, cocinas y lavanderías. La tabla nos muestra una mayor variedad o combinación de artefactos agrupados en un conjunto.
- El valor total de UG representa el factor de demanda de este grupo o conjunto de artefactos en la red de distribución de agua potable del edificio. Similar al inciso 1.13.2, las UG individuales para cada grupo de agua fría y caliente representa 3/4 del valor total de cada grupo. La Tabla está dividida en tres tipos o variedad de conjuntos dependiendo del uso de inodoros con válvula de descarga o con tanque de descarga o de gravedad.

2.10 CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES (METODO DE HUNTER)

El caudal máximo probable (QMP), se determina en función de un coeficiente de simultaneidad de uso, debido a que el consumo de agua de la red de una edificación varia con el comportamiento de sus ocupantes en los diferentes momentos del día. (Soriano & Pancorbo, 2012).

Para determinar el caudal máximo probable (QMP) en L/s, correspondiente a un determinado número de Unidades de Gasto (UG), Método de Hunter, se encuentra en la "Tabla 5 " en la cual los valores han sido ordenados en términos de UG Vs. Caudal (L/s), dependiendo del tipo de artefacto empleado, con tanque o válvula de descarga.

La máxima demanda probable es mayor en aquellos sistemas de agua potable en los cuales se han instalado inodoros que funcionan directamente con válvulas de descarga (en comparación con los inodoros con tanques de gravedad). La diferencia entre la demanda máxima probable entre los dos sistemas disminuye conforme el número total de UG aumenta. La "Tabla 5" ha sido calculada tomando en cuenta las siguientes fórmulas (desarrolladas por los Ingenieros Alfonzo Pomarino y Sergio Rodriguez), tomando en cuenta la experiencia desarrollada en Bolivia.

Para instalaciones que cuentan con tanques cisterna de descarga:

$$0{,}00 < UG < 100 \quad QMP\ (L/s) = 0{,}083373 + 0{,}022533 * UG - 8.31E\text{-}5 * UG^2$$

$100 \leq UG \leq 500$ QMP (L/s) = 0,814228 + 0,007263 * UG – 5,55E-7 * UG^2

$500 \leq UG \leq 1\ 000$ QMP (L/S) = 1,501666 + 0,005683 * UG

Para instalaciones que cuentan con artefactos que funcionan con un sistema de válvula de descarga:

$5,0 < UG < 100$ QMP (L/s) = 0,212260 + 0,026369 * UG – 1.04E-4 * UG^2

$100 \leq UG \leq 500$ QMP (L/s) = 1,523285 + 0,008663 * UG – 4,11E-6 * UG^2

$500 \leq UG \leq 1\ 000$ QMP (L/S) = 2,546667+0,004663 * UG

(RENISDA, 2011).

Tabla 3.

Unidades de gasto por artefacto sanitario. Método de hunter (TABLA 1.8 – RENISDA)

Tabla 1.8. Unidades de Gasto por artefacto sanitario*. Método de Hunter

Artefacto Sanitario	Viviendas Unifamiliares o de dos Deptos.			Edificios Multifamiliares, con 3 o más Deptos.			Edificios públicos, comerciales.			Edificios de alta ocupación: Teatros, Stadiums, escuelas y similares		
	Unidades de Gasto (UG)			Unidades de Gasto (UG)			Unidades de Gasto (UG)			Unidades de Gasto (UG)		
	Total	Fria	Caliente	Total	Fria	Caliente	Total	Fria	Caliente	Total	Fria	Caliente
Tina de baño o tina con ducha	4,0	3,0	3,0	3,5	2,6	2,6	4,0	3,0	3,0			
Bidet	1,0	0,8	0,8	0,5	0,4	0,4						
Lavadora automática (doméstica)	4,0	3,0	3,0	2,5	1,9	1,9	4,0	3,0	3,0			
Máquina automática de lavar platos (doméstico)	1,5		1,5	1,0		1,0	1,5		1,5			
Bebedero							0,5	0,5		0,8	0,8	
Grifo de riego	2,5	2,5		2,5	2,5		2,5	2,5				
Grifo de riego adicional, por c/ Unid. añadida	1,0	1,0		1,0	1,0		1,0	1,0				
Lavaplatos o pileta de cocina	1,5	1,1	1,1	1,0	0,8	0,8	1,5	1,1	1,1			
Lapaplatos o pileta de cocina exclusivo**	3,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	4,0	3,0	3,0			
Lavandería o pileta de lavado	2,0	1,5	1,5	1,0	0,8	0,8	2,0	1,5	1,5			
Lavamanos o Lavatorio	1,0	0,8	0,8	0,5	0,4	0,4	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	0,8
Pileta de servicio							3,0	2,3	2,3			
Ducha individual	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5	1,5			
Ducha de uso continuo							5,0	3,8	3,8	5,0	3,8	3,8
Urinario c/válvula de descarga de 3.75 L							4,0	4,0		5,0	5,0	
Urinario, c/válvula de descarga > a 3.75 L							5,0	5,0		6,0	6,0	
Inodoro c/tanque de descarga de 6 L	2,5	2,5		2,5	2,5		2,5	2,5		4,0	4,0	
Inodoro c/ tanque de hidropresión de 6 L	2,5	2,5		2,5	2,5		2,5	2,5		3,5	3,5	
Inodoro, c/válvula de descarga de 6 L	5,0	5,0		5,0	5,0		5,0	5,0		8,0	8,0	
Inodoro, c/ tanque de descarga de 13 L.	3,0	3,0		3,0	3,0		5,5	5,5		7,0	7,0	
Inodoro, c/válvula de descarga de 13 L	7,0	7,0		7,0	7,0		8,0	8,0		10,0	10,0	
Tina de hidromasaje	4,0	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0						

* Fuente: National Standard Plumbing Code 2006 ** En cocinas que no cuentan con máquina de lavar platos

Fuente: *Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias*

Tabla 4.

Unidades de gasto para conjunto de artefactos sanitarios. método de hunter (TABLA 1.9 – RENISDA)

Tabla 1.9.Unidades de Gasto para conjuntos de artefactos *. Método de Hunter**

Conjuntos de baño, inodoros con tanques de descarga de 6L	Total en viviendas individuales o de dos departamentos			Total en edificios multifamiliares mayores o iguales a 3 Deptos.		
	Total UG	Agua Fría UG	Agua Caliente UG	Total UG	Agua Fría UG	Agua Caliente UG
Medio baño o de visitas	3,5	3,3	0,8	2,5	2,5	0,4
1 Baño completo o conjunto de baño	5,0	5,0	3,8	3,5	3,5	3,0
1 1/2 Baño	6,0	6,0	4,5			
2 Baños completos	7,0	7,0	7,0			
2 1/2 Baños	8,0	8,0	8,0			
3 Baños completos	9,0	9,0	9,0			
1/2 Baño adicional	0,5	0,5	0,5			
Grupo adicional de 1 Baño completo	1,0	1,0	1,0			
Conjuntos de Baño, inodoros con tanques de descarga de 12 L	**Total UG**	**Agua Fría UG**	**Agua Caliente UG**	**Total UG**	**Agua Fría UG**	**Agua Caliente UG**
Medio baño o de visitas	4,0	3,8	0,8	3,0	3,0	0,4
1 Baño completo	6,0	6,0	3,8	5,0	5,0	3,0
1 1/2 Baño	8,0	8,0	4,5			
2 Baños completos	10,0	10,0	7,0			
2 1/2 Baño	11,0	11,0	8,0			
3 Baños completos	12,0	12,0	9,0			
1/2 Baño adicional	0,5	0,5	0,5			
Grupo adicional de baño	1,0	1,0	1,0			
Otros Conjuntos de baño	**Total UG**	**Agua Fría UG**	**Agua Caliente UG**	**Total UG**	**Agua Fría UG**	**Agua Caliente UG**
Baño completo, inodoros con válvula de descarga de 6L	6,0	6,0	3,8	4,0	4,0	3,0
Baño completo, inodoro con válvula de descarga de 12 L	8,0	8,0	3,8	6,0	6,0	3,0
Cocina completa (Lavaplatos y máquina de lavar platos)	2,0	1,1	2,0	1,5	0,8	1,5
Lavandería completa (lavandería y máquina de lavar ropa)	5,0	4,5	4,5	3,0	2,6	2,6

**** Fuente: National Standard Plumbing Code 2006

Baño Completo: Comprende un conjunto de 1 Inodoro, 1 lavamanos, 1 Tina c/ducha.

Medio Baño: Comprende 1 Inodoro y un lavamanos.

Fuente: *Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias*

Tabla 5.

Caudales máximos probables. Método de hunter (TABLA 1.10 –RENISDA)

Tabla 1.10. Caudales máximos probables. Método de Hunter

U.GASTO	TANQUE	VÁLVULA	U. GASTO	TANQUE	VÁLVULA	U. GASTO	TANQUE	VÁLVULA
1,00			51,00	1,02	1,79	110,00	1,61	2,43
2,00			52,00	1,03	1,81	120,00	1,68	2,50
3,00	0,15		53,00	1,04	1,82	130,00	1,75	2,58
4,00	0,17		54,00	1,06	1,84	140,00	1,82	2,66
5,00	0,19	0,85	55,00	1,07	1,85	150,00	1,89	2,73
6,00	0,22	0,87	56,00	1,08	1,87	160,00	1,96	2,80
7,00	0,24	0,90	57,00	1,10	1,88	170,00	2,03	2,88
8,00	0,26	0,92	58,00	1,11	1,90	180,00	2,10	2,95
9,00	0,28	0,95	59,00	1,12	1,91	190,00	2,17	3,02
10,00	0,30	0,97	60,00	1,14	1,93	200,00	2,24	3,09
11,00	0,32	1,00	61,00	1,15	1,94	210,00	2,31	3,16
12,00	0,34	1,02	62,00	1,16	1,95	220,00	2,39	3,23
13,00	0,36	1,04	63,00	1,17	1,97	230,00	2,46	3,30
14,00	0,38	1,07	64,00	1,18	1,98	240,00	2,53	3,37
15,00	0,40	1,09	65,00	1,20	1,99	250,00	2,60	3,43
16,00	0,42	1,11	66,00	1,21	2,01	260,00	2,67	3,50
17,00	0,44	1,14	67,00	1,22	2,02	270,00	2,73	3,56
18,00	0,46	1,16	68,00	1,23	2,03	280,00	2,80	3,63
19,00	0,48	1,18	69,00	1,24	2,04	290,00	2,87	3,69
20,00	0,50	1,20	70,00	1,25	2,06	300,00	2,94	3,75
21,00	0,52	1,23	71,00	1,26	2,07	310,00	3,01	3,81
22,00	0,54	1,25	72,00	1,27	2,08	320,00	3,08	3,88
23,00	0,56	1,27	73,00	1,28	2,09	330,00	3,15	3,93
24,00	0,58	1,29	74,00	1,29	2,10	340,00	3,22	3,99
25,00	0,59	1,31	75,00	1,30	2,11	350,00	3,29	4,05
26,00	0,61	1,33	76,00	1,31	2,12	360,00	3,36	4,11
27,00	0,63	1,35	77,00	1,32	2,13	370,00	3,43	4,17
28,00	0,65	1,37	78,00	1,33	2,14	380,00	3,49	4,22
29,00	0,67	1,40	79,00	1,34	2,15	390,00	3,56	4,28
30,00	0,68	1,42	80,00	1,35	2,16	400,00	3,63	4,33
31,00	0,70	1,44	81,00	1,36	2,17	410,00	3,70	4,38
32,00	0,72	1,46	82,00	1,37	2,18	420,00	3,77	4,44
33,00	0,74	1,48	83,00	1,38	2,19	430,00	3,83	4,49
34,00	0,75	1,49	84,00	1,39	2,20	440,00	3,90	4,54
35,00	0,77	1,51	85,00	1,40	2,21	450,00	3,97	4,59
36,00	0,79	1,53	86,00	1,40	2,22	460,00	4,04	4,64
37,00	0,80	1,55	87,00	1,41	2,23	470,00	4,11	4,69
38,00	0,82	1,57	88,00	1,42	2,24	480,00	4,17	4,74
39,00	0,84	1,59	89,00	1,43	2,24	490,00	4,24	4,78
40,00	0,85	1,61	90,00	1,44	2,25	500,00	4,31	4,88
41,00	0,87	1,62	91,00	1,44	2,26	510,00	4,40	4,92
42,00	0,88	1,64	92,00	1,45	2,27	520,00	4,46	4,97
43,00	0,90	1,66	93,00	1,46	2,27	530,00	4,51	5,02
44,00	0,91	1,68	94,00	1,46	2,28	540,00	4,57	5,06
45,00	0,93	1,69	95,00	1,47	2,29	550,00	4,63	5,11
46,00	0,94	1,71	96,00	1,48	2,29	560,00	4,68	5,16
47,00	0,96	1,73	97,00	1,48	2,30	570,00	4,74	5,20
48,00	0,97	1,74	98,00	1,49	2,31	580,00	4,80	5,25
49,00	0,99	1,76	99,00	1,50	2,31	590,00	4,85	5,30
50,00	1,00	1,78	100,00	1,54	2,35	600,00	4,91	5,34

NOTA 1.- Los gastos están en lt/s y corresponden a un ajuste de la tabla original del Método Hunter.

Fuente: *Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias*

Tabla 1.10 (Continuación). Caudales máximos probables. Método de Hunter

U. GASTO	TANQUE	VALVULA	U.GASTO	TANQUE	VALVULA	U. GASTO	TANQUE	VALVULA
610	4,97	5,39	1250	8,17	8,17	2475	12,96	12,96
620	5,03	5,44	1275	8,27	8,27	2500	13,06	13,06
630	5,08	5,48	1300	8,37	8,37	2525	13,16	13,16
640	5,14	5,53	1325	8,47	8,47	2550	13,25	13,25
650	5,20	5,58	1350	8,56	8,56	2575	13,35	13,35
660	5,25	5,62	1375	8,66	8,66	2600	13,45	13,45
670	5,31	5,67	1400	8,76	8,76	2625	13,55	13,55
680	5,37	5,72	1425	8,86	8,86	2650	13,64	13,64
690	5,42	5,76	1450	8,96	8,96	2675	13,74	13,74
700	5,48	5,81	1475	9,06	9,06	2700	13,84	13,84
710	5,54	5,86	1500	9,15	9,15	2725	13,93	13,93
720	5,59	5,90	1525	9,25	9,25	2750	14,03	14,03
730	5,65	5,95	1550	9,35	9,35	2775	14,13	14,13
740	5,71	6,00	1575	9,45	9,45	2800	14,22	14,22
750	5,76	6,04	1600	9,55	9,55	2825	14,32	14,32
760	5,82	6,09	1625	9,65	9,65	2850	14,42	14,42
770	5,88	6,14	1650	9,74	9,74	2875	14,51	14,51
780	5,93	6,18	1675	9,84	9,84	2900	14,61	14,61
790	5,99	6,23	1700	9,94	9,94	2925	14,71	14,71
800	6,05	6,28	1725	10,04	10,04	2950	14,80	14,80
810	6,11	6,32	1750	10,14	10,14	2975	14,90	14,90
820	6,16	6,37	1775	10,23	10,23	3000	14,99	14,99
830	6,22	6,42	1800	10,33	10,33	3050	15,19	15,19
840	6,28	6,46	1825	10,43	10,43	3100	15,38	15,38
850	6,33	6,51	1850	10,53	10,53	3150	15,57	15,57
860	6,39	6,56	1875	10,63	10,63	3200	15,76	15,76
870	6,45	6,60	1900	10,72	10,72	3250	15,96	15,96
880	6,50	6,65	1925	10,82	10,82	3300	16,15	16,15
890	6,56	6,70	1950	10,92	10,92	3350	16,34	16,34
900	6,62	6,74	1975	11,02	11,02	3400	16,53	16,53
910	6,67	6,79	2000	11,11	11,11	3450	16,72	16,72
920	6,73	6,84	2025	11,21	11,21	3500	16,91	16,91
930	6,79	6,88	2050	11,31	11,31	3550	17,11	17,11
940	6,84	6,93	2075	11,41	11,41	3600	17,30	17,30
950	6,90	6,96	2100	11,50	11,50	3650	17,49	17,49
960	6,96	7,02	2125	11,60	11,60	3700	17,68	17,68
970	7,01	7,07	2150	11,70	11,70	3750	17,87	17,87
980	7,07	7,12	2175	11,80	11,80	3800	18,06	18,06
990	7,13	7,16	2200	11,89	11,89	3850	18,25	18,25
1000	7,18	7,21	2225	11,99	11,99	3900	18,44	18,44
1025	7,22	7,28	2250	12,09	12,09	3950	18,63	18,63
1050	7,28	7,38	2275	12,19	12,19	4000	18,82	18,82
1075	7,38	7,48	2300	12,28	12,28			
1100	7,48	7,58	2325	12,38	12,38	Criterio Definido por Comisión		
1125	7,68	7,68	2350	12,48	12,48	Fórmulas y valores desarrollados por el		
1150	7,77	7,77	2375	12,58	12,58	Ing. Alfonso Pomarino C.		
1175	7,87	7,87	2400	12,67	12,67	Procesado por Ing. Sergio Rodriguez		
1200	7,97	7,97	2425	12,77	12,77			
1225	9,07	8,07	2450	12,87	12,87			

NOTA 1.- Los gastos están en lt/s y corresponden a un ajuste de la tabla original del Método de Hunter

Fuente: *Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias*

2.11 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LOS CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES

Existen diferentes métodos de cálculo de caudal máximo probable (QMP), que son utilizados por otros países, dentro de sus normativas o reglamentos, en este trabajo de investigación analizaremos algunos de los tantos que pueden ser adaptados a nuestra realidad.

Los Métodos de Cálculo se dividen en:

- Métodos Empíricos
- Métodos Semiempíricos
- Métodos probabilísticos

2.11.1 Método Empírico.

Estos Métodos son:

a. Método Británico.

Este método establece diferentes tablas de "probables demandas simultáneas" que corresponden a diversas situaciones posibles y se determinaron de acuerdo a las investigaciones pertinentes. Se utilizan las siguientes Tablas:

Tabla 6.
Descargas aproximadas para artefactos sanitarios en agua fría y agua.

Muebles sanitarios	Descarga (l/m)
Baño privado	18,93
Baño público	30,28
Lavadero	15,14
Lavamanos	7,57
Ducha	7,57
Regadera de 4"	15,14
Regadera de 6"	30,28
Válvulas de Fluxómetro*	75
*Caudal supuesto	

Fuente: *Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en edificios* (Díaz Sosa, 1991)

Tabla 7.
Descargas simultaneas para muebles sanitarios

Gasto Total (l/m)	Demanda Probable (l/m)	Porcentaje sobre el máximo posible
Hasta 12	100% del máximo posible	100,0%
53	49,2	92,8%
60,6	54,9	90,6%
68,1	60,6	89,0%
75,7	66,2	87,5%
87,1	71,9	82,5%
98,4	77,6	78,9%
113,6	85,2	75,0%
132,5	90,8	68,5%
151,4	98,4	65,0%
174,1	106	60,9%
200,6	113,6	56,6%
230,9	121,1	52,4%
268,8	128,7	47,9%
306,6	140,1	45,7%
318	147,6	46,4%
405	159	39,3%
465,6	170,3	36,6%
537,5	181,7	33,8%
617	196,8	31,9%
711,7	212	29,8%
817,6	230,9	28,2%
938,8	246,1	26,2%
1082,8	268,8	24,8%
1245,4	291,5	23,4%
1430,9	321,8	22,5%
1646,6	359,6	21,8%
1892,7	393,7	20,8%
Más de 1892,7	20% del máximo posible	20,0%

Fuente: *Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en edificios (Díaz Sosa, 1991)*

La "*Tabla Nº 6*" muestra las demandas para distintos artefactos sanitarios; después, considerando el sistema de distribución hidráulico, se sumaron las demandas de todos los muebles sanitarios que puede servir una línea de tubería en el sistema, para luego ingresar a la

"*Tabla Nº 7*", con el número de litros por minuto que se calcularon, leer la Probable Demanda Máxima Simultánea en litros por minuto, y diseñar la tubería que conducirá este flujo.

b. Método de Dawson y Bowman.

Dawson y Bowman hizo su trabajo de investigación en la universidad de Wisconsin en donde elaboraron una tabla del número total de aparatos sanitarios para varias clases de viviendas y apartamentos de hasta seis unidades, en donde especificaron el número y tipo de aparatos sanitarios que podían estar operando para determinar la carga de diseño.

Tabla 8.

Gastos de diseño recomendados para pequeñas instalaciones hidráulicas en edificios de apartamentos y vivienda unifamiliar

Tipo de edificación	Muebles sanitarios	Gasto total (l/m)	Gasto de diseño (l/m)
Casa unifamiliar de familia pequeña	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	2 llaves de lavandería	60,56	30,28
	1 llave de fregadero	28,39	
	1 lavabo	18,93	18,93
	1 WC o inodoro*	11,36	11,36
	1 tina o regadera	37,85	
	Sumatorias	*194,94*	*79,5*
Casa unifamiliar de familia grande	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	2 llaves de lavandería	60,56	30,28
	1 llave de fregadero	28,39	
	3 lavabos	56,78	18,93
	3 WCs o inodoros*	34,07	11,36
	2 tinas o regaderas	75,7	37,85
	Sumatorias	*293,35*	*117,35*

Dos familias en una sola planta	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	4 llaves de lavandería	121,12	60,56
	2 llaves de fregadero	56,78	28,39
	2 lavabos	37,85	18,93
	2 WCs o inodoros*	22,71	11,36
	2 tinas o regaderas	75,7	
	Sumatorias	*352,01*	*138,17*
Cuatro familias en apartamentos	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	6 llaves de lavandería	181,68	90,84
	4 llaves de fregadero	113,55	56,78
	4 lavabos	75,7	18,93
	4 WCs o inodoros*	45,42	22,71
	4 tinas o regaderas	151,4	
	Sumatorias	*605,6*	*208,19*
Seis familias en apartamentos	2 llaves exteriores	37,85	18,93
	8 llaves de lavandería	242,24	90,84
	6 llaves de fregadero	170,33	81,38
	6 lavabos	75,7	37,85
	6 WCs o inodoros*	68,13	22,71
	6 tinas o regaderas	227,1	37,85
	Sumatorias	*821,35*	*289,56*

* Todos los WC o inodoros se consideran de tanque. Si se utilizarán fluxómetros, úsese el valor de 113,55 l/m en las columnas 3 y 4 del WC

Fuente: *Instalaciones Hidráulicas y sanitarias en edificios (Díaz Sosa, 1991)*

2.11.2 Método semi-empírico.

Estos métodos combinan la experiencia del investigador con un sustento teórico lo que les permite establecer fórmulas y expresiones matemáticas. Estos Métodos son:

a. Método Alemán de la Raíz Cuadrada.

Este método toma como unidad de gasto (UG), la descarga de una llave de 3/8" bajo ciertos parámetros y asigna un factor de carga unitario (FC) a dicho gasto, así el FC multiplicado por el número de aparatos conectados por la tubería y el resultado es sumado y posteriormente se obtiene su raíz, este valor es la carga de diseño.

La carga de diseño en función de lo explicado se obtiene mediante la siguiente formula:

$$Q = q_{1*}\sqrt{f_1 * n_1 + f_2 * n_2 + \ldots f_i * n_i}$$

Donde:

Q= Caudal de Diseño (L/s)

fi= Factor de Carga (Adimensional)

ni= Numero de muebles sanitarios

qi= Factor de carga (carga unitaria)

La fórmula para la obtención del factor de carga (ni) es la siguiente.

$$f_i = (\frac{GA}{GU})^2$$

Donde:

fi=factor de carga

GA= Gasto del aparato sanitario

GU= Gasto unitario= 0.25 l/s

Así, la carga de diseño para los dos grupos de llaves será:

$$Q = q_{1*}\sqrt{f_1 * n_1 + f_2 * n_2}$$

O bien

$$Q = 0.25 * \sqrt{n_1 + 9 * n_2}$$

Por tanto, generalizando, para cualquier clase de aparatos que son usados de manera intermitente en el sistema, se tiene como fórmula para la carga de diseño, la siguiente:

$$Q = 0.25 * \sqrt{f_1 * n_1 + f_2 * n_2 + \cdots f_i * n_i}$$

Donde:

Q= carga o gasto de diseño, en l/s.

f_1, f_2, f_i= factor de carga.

n_1, n_2, n_i= número de aparatos sanitarios por clase.

b. Método del Factor de Simultaneidad

En este Método, para establecer el caudal máximo probable (QMP), se requiere conocer los caudales de los aparatos instalados, sumarlos y posteriormente, afectar los resultados por un coeficiente de simultaneidad. Esta fórmula es establecida por la Norma Francesa NP 41-204.

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

Donde:

K_1 = Coeficiente de simultaneidad

n= Cantidad total de aparatos sanitarios

Los caudales mínimos recomendados, en las unidades originales en que fue concebido el método, se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 9.

Caudales mínimos para cada aparato

Aparato	Qmín (l/s)
Calentador eléctrico	0,30
Ducha	0,20
Inodoro de tanque	0,15
Inodoro de fluxómetro	1,25
Lavamanos	0,20
Lavadero	0,20 - 0,30
Lavaplatos	0,25 - 0,30
Lavadora	0,20 - 0,30
Llave externa	0,25

Fuente: *Adaptado de (Castro, 2006)*

La determinación del caudal máximo probable "Q_p" se realiza como sigue:

$$Q_p = K_1 * q_{máx.}$$

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 reevaluada.

Es necesario y muy común que se utilicen otras fórmulas genéricas, así como otras específicas para los diferentes tipos de edificios. En el caso de los hoteles es necesario un estudio particular, aunque generalmente el coeficiente de simultaneidad (K_1) se multiplica por un factor de 1,25. Para las escuelas internados, centros deportivos, gimnasios, cuarteles, etc. debe considerarse que todos los lavabos o las duchas pueden funcionar simultáneamente, salvo si la instalación está equipada con griferías de cierre temporizado, siendo necesario también en este caso un estudio particular. Para los hospitales, geriátricos, residencias para ancianos y oficinas el coeficiente de simultaneidad no está afectado por ningún factor corrector en particular. Para los restaurantes también se requiere un estudio específico; generalmente el coeficiente de simultaneidad se suele multiplicar en este caso por un factor de 1,5. (Pancobo, 2001)

En definitiva, la expresión de la Norma Francesa para el cálculo del caudal máximo probable "Q_p" suele mayorarse de la siguiente forma:

$$Q_p\,(Instalaciones\ estandar) = K_1 \cdot q_{máx}$$

$$Q_p\,(Hoteles) = 1{,}25 \cdot K_1 \cdot q_{máx}$$

$$Q_p\,(Restaurantes) = 1{,}50 \cdot K_1 \cdot q_{máx}$$

c. Método Racional o español

Se realiza un cálculo similar al Factor de Simultaneidad, pero el coeficiente es definido por la ecuación desarrollada por investigadores de España, esta depende al número de aparatos conectados en una vivienda. Al igual que en el caso del método anterior, el primer paso consiste en establecer los caudales de los aparatos instalados, se suman y se afectan los resultados por el coeficiente de simultaneidad (Castro, 2006) K_1, pero en éste caso *n* corresponderá al número de aparatos instalados en una vivienda.

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

Donde:

K_1= Coeficiente de simultaneidad

n = Cantidad total de aparatos sanitarios por unidad habitacional.

En conjuntos de viviendas de similares características, para considerar la simultaneidad, la caudal punta Q_p del distribuidor común a un determinado número de las mismas se obtiene como la sumatoria de los caudales máximos de cada vivienda q_p afectado por el siguiente factor:

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

Donde:

K_2= Coeficiente de simultaneidad del conjunto habitacional.

N= Número de habitaciones.

La fórmula de cálculo del caudal de diseño es de la siguiente forma.

$$Q_p = N * K2 * K1 * \sum Q\ min.$$

Dónde: *N* = Cantidad total de unidades habitacionales

K2 = Coeficiente de simultaneidad del conjunto habitacional.

K1 = Coeficiente de simultaneidad individual.

Q min= Caudal de cada aparato sanitarios por su cantidad.

Para un buen funcionamiento de los aparatos, en la tabla siguiente se muestran los caudales mínimos que se deben suministrar.

Tabla 10.

Caudales y presiones mínimas para cada aparato método racional.

Aparato	Q (l/s)	P (kg/cm2)	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

Fuente: *Según normatividad española, adaptado de (Castro, 2006)*

2.11.3 Métodos probabilísticos.

Este método parte del hecho que no todos los aparatos sanitarios instalados funcionan simultáneamente.

Estos métodos que se basan en la teoría de la probabilidad para determinar un caudal máximo probable y ser utilizado como caudal de diseño; se comenzaron a emplear en 1940, sin embargo, con el desarrollo de nuevos materiales para la construcción y la modernización de los aparatos hidrosanitarios, se ha generado una brecha entre la metodología original y los requerimientos actuales, lo que generó modificaciones como es el Método de Hunter Modificado. (ÁLVAREZ, 2013)

a. Método de Hunter Modificado

Este es un método que se basa en el método anterior, además el cálculo del factor de carga para cada clase de aparato sanitario, se realiza de forma idéntica (Castro et al., 2006).

El método de Hunter genera datos de simultaneidad un tanto elevados para el medio latinoamericano, lo que ocasiona el sobredimensionamiento de los diámetros de las tuberías. Esta situación se da debido a que en la actualidad la frecuencia, uso y tecnología de los aparatos sanitarios difieren a las condiciones imperantes en la época en la cual fue desarrollado el método anterior (Pancorbo, 2011). Es así que el método de Hunter Modificado, contempla únicamente un 40% del valor de carga unitaria obtenida con el método anterior, y con este valor reducido se ingresa a las curvas o tablas ya definidas por el método de Hunter (Pancorbo, 2011).

b. Método de Hunter Colombia

En Colombia se realizaron algunas modificaciones al método de Hunter. Este método introduce cambios en el caudal de los aparatos a abastecer y se adapta a las condiciones de este País. Estas modificaciones se basan en trabajos de aforos realizados en diferentes edificaciones, de tipo residencial y oficinas en la ciudad de Bogotá, como parte de la tesis de una maestría universitaria (Ortiz Mosquera, 2007.) por tanto las misma están sujetas a modificaciones y/o comprobaciones.

Pero se debe hacer notar que ya existían estudios anteriores realizados por un Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos “GIREH” dirigidos por el Ing Msc Rafael Orlando Ortiz Mosquera, los resultados obtenidos en los trabajos realizador, al aplicar los diferentes métodos para el cálculo del caudal máximo probable (QMP), en las diferentes edificaciones estudiadas, y comparando los mismos con el caudal máximo instantáneo medido, se observó que el método que más se aproximaba a los resultados medidos era el método racional, y en segundo lugar el método de Hunter.

Para establecer el uso simultáneo de los aparatos se siguen los mismos fundamentos probabilísticos del método original, considerando nuevos valores para la duración del uso de las válvulas de tanque, por lo que varía la probabilidad del uso simultáneo (Castro, 2006).

También se consideró una reducción de los caudales promedios de los aparatos sanitarios en comparación con el método original, con lo que se busca establecer caudales más cercanos a las demandas de los aparatos actuales. La aplicación del método sigue el mismo principio del Método de Hunter Original y el Método de Hunter de la NTC 1500, y la obtención de las unidades de consumo se realiza de forma idéntica; la modificación se da en la lectura del caudal máximo probable, que se halla a partir de las gráficas de Unidades de Consumo Vs caudal obtenidas por los investigadores del GIREH, donde se muestra la reducción del caudal promedio de los aparatos respecto del que usan los otros métodos, en función a caudales de aparatos actuales y tiempos de llenado menores. (Ortiz Mosquera, 2007.)

Figura 1.

Curva de caudal máximo probable método de HUNTER UNAL (de 0 a 1000 unidades).

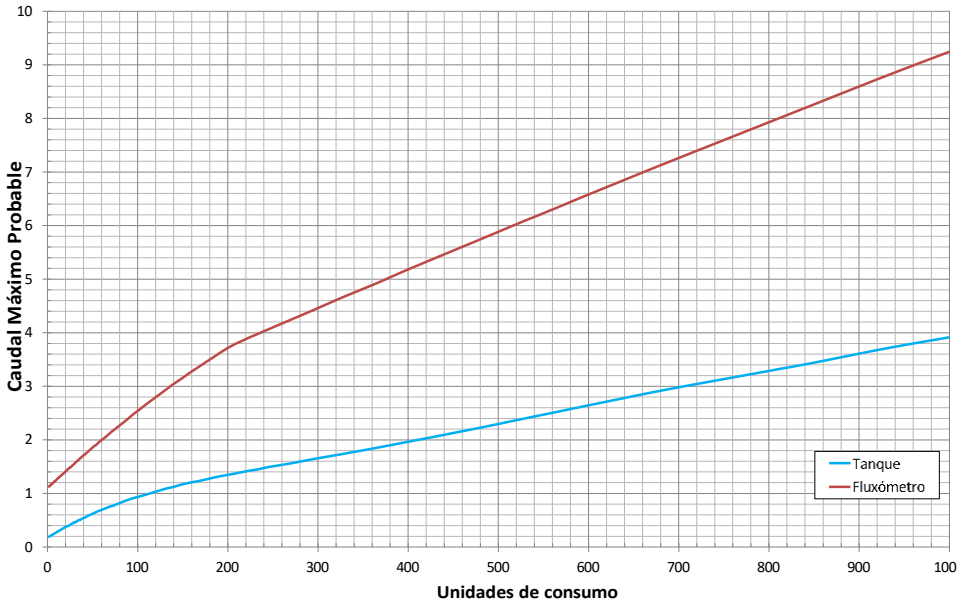
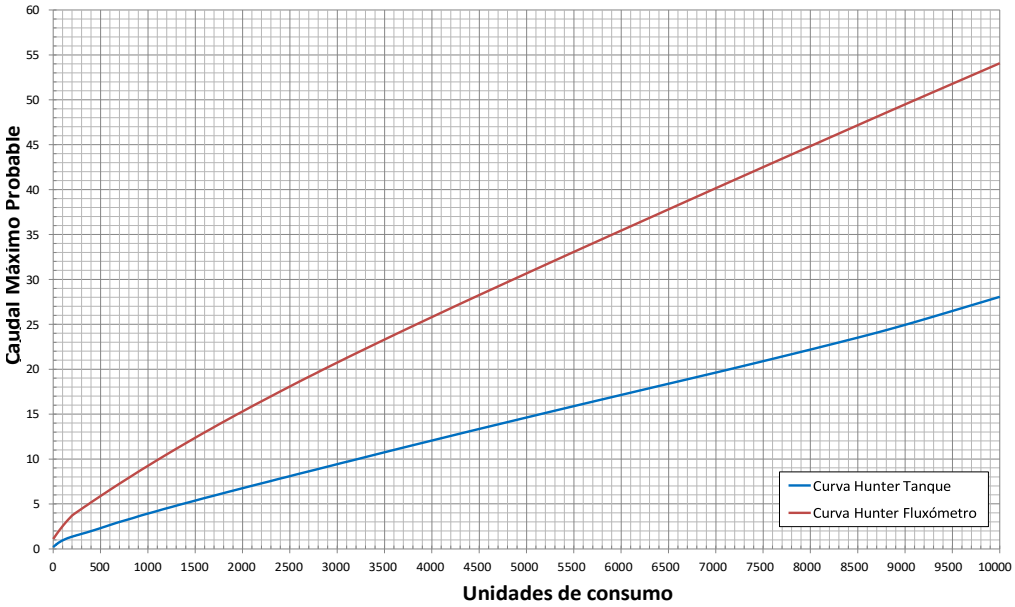


Figura 2.

Curva de caudal máximo probable método de HUNTER UNAL (de 0 a 10000 unidades)



También es necesario usar la siguiente tabla de método hunter:

Tabla 11.

Unidades de gasto de diferentes aparatos.

Aparato o Grupo	Tipo de uso	Tipo de suministro	Unidades de Aparato		Total
			Agua Caliente	Agua Fría	
Sanitario	Público	Fluxómetro		10	10
Sanitario		Tanque		5	5
Orinal Pedestal		Fluxómetro 1”		10	10
Orinal Pared		Fluxómetro 3/4”		5	5
Lavamanos			1.5	1.5	2
Tina			3	3	4
Regadera ducha		Mezclador	3	3	4
Lavaplatos		Mezclador	3	3	4
Sanitario	Privado	Fluxómetro		6	6
Sanitario		Tanque		3	3
Lavamanos		Mezclador	0.75	0.75	1
Tina		Mezclador	1.5	1.5	2
Regadera ducha		Mezclador	1.5	1.5	2
Grupo de Baño		Sanitario Flux	2.25	6.75	8
Grupo de Baño		Sanitario Tanque	2.25	4.5	6
Lavaplatos		Mezclador	1.5	1.5	2
Lavadora			2.25	2.25	3

Fuente: *Adaptación (Castro, 2006*)

Tabla 12.

Duración (t) y frecuencia (t) de uso

Control	***t(s)***	***T(s)***	***P=t/T***
Fluxómetro	9	300	0,03
Tanque	30	300	0,1

Fuente: *(Castro, 2006*)

Para facilitar el empleo de este método, los autores elaboraron una tabla en la cual se encuentra consignado los valores de caudales máximos probables para aparatos de tanque y de fluxómetro en función al número de unidades sanitarias o de consumo, dicha tabla se presenta a continuación.

Tabla 13.

Caudal máximo probable Vs Unidades de consumo, Método de Hunter Colombiano.

CAUDAL MÁXIMO PROBABLE MÉTODO DE HUNTER UNAL PARA COLOMBIA								
Unidades	**Caudal (l/s)**		**Unidades**	**Caudal (l/s)**		**Unidades**	**Caudal (l/s)**	
	Fluxómetro	**Tanque**		**Fluxómetro**	**Tanque**		**Fluxómetro**	**Tanque**
1	1.11	0.18	66	2.07	0.73	775	7.76	3.21
2	1.13	0.19	69	2.12	0.75	811	8	3.32
3	1.14	0.2	73	2.17	0.77	850	8.26	3.44
4	1.16	0.21	76	2.21	0.79	931	8.8	3.71
5	1.17	0.22	82	2.29	0.83	1009	9.3	3.94
6	1.19	0.23	88	2.37	0.87	1091	9.83	4.18
7	1.2	0.24	95	2.47	0.91	1173	10.35	4.43
8	1.22	0.25	102	2.56	0.94	1254	10.86	4.66
9	1.23	0.26	108	2.64	0.97	1335	11.36	4.9
10	1.25	0.27	116	2.74	1.01	1418	11.87	5.13
11	1.27	0.28	124	2.84	1.05	1500	12.37	5.36
12	1.28	0.29	132	2.94	1.09	1583	12.87	5.6
13	1.3	0.3	140	3.04	1.12	1668	13.37	5.83
14	1.31	0.31	148	3.13	1.16	1755	13.89	6.07
15	1.33	0.32	158	3.25	1.2	1845	14.41	6.32
16	1.34	0.33	168	3.36	1.23	1926	14.88	6.54
18	1.37	0.35	176	3.45	1.26	2018	15.4	6.79
20	1.4	0.37	186	3.56	1.3	2110	15.93	7.04
21	1.42	0.38	195	3.66	1.33	2204	16.45	7.29
23	1.45	0.39	205	3.76	1.36	2298	16.97	7.54
25	1.48	0.41	214	3.83	1.39	2388	17.47	7.79
26	1.49	0.42	223	3.9	1.42	2480	17.97	8.03
28	1.52	0.44	234	3.98	1.45	2575	18.49	8.29
30	1.55	0.46	245	4.06	1.49	2670	19	8.54
31	1.57	0.46	270	4.24	1.56	2765	19.5	8.79
33	1.6	0.48	295	4.42	1.64	2862	20.02	9.05
35	1.63	0.5	329	4.67	1.74	2960	20.53	9.31
37	1.66	0.51	365	4.92	1.85	3060	21.05	9.58
39	1.69	0.53	396	5.15	1.95	3150	21.52	9.81
42	1.73	0.55	430	5.39	2.06	3620	23.91	11.06
44	1.76	0.57	460	5.6	2.16	4070	26.15	12.23
46	1.79	0.59	490	5.81	2.26	4480	28.16	13.29
48	1.82	0.6	521	6.03	2.37	5380	32.49	15.58
50	1.85	0.62	559	6.29	2.5	6280	36.76	17.83
52	1.88	0.63	596	6.55	2.63	7280	41.47	20.33
54	1.9	0.65	631	6.79	2.75	8300	46.24	22.98
57	1.95	0.67	666	7.03	2.87	9000	49.49	24.94
60	1.99	0.69	700	7.26	2.98	10000	54.07	28.06
63	2.03	0.71	739	7.52	3.1			

Fuente: *(Ortiz Mosquera, 2007.)*

CAPITULO 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 MÉTODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se realizó un estudio bibliográfico, para poder determinar el estado del arte de las diferentes metodologías que permiten calcular el caudal máximo probable (QMP) estudiadas en esta investigación, También se utiliza el Método cuantitativo, ya que se realizaron cálculos, se utilizaron plantillas, para determinar el QMP para las diferentes metodologías en estudio, determinando la variación de resultados que existen entre cada una de ellas

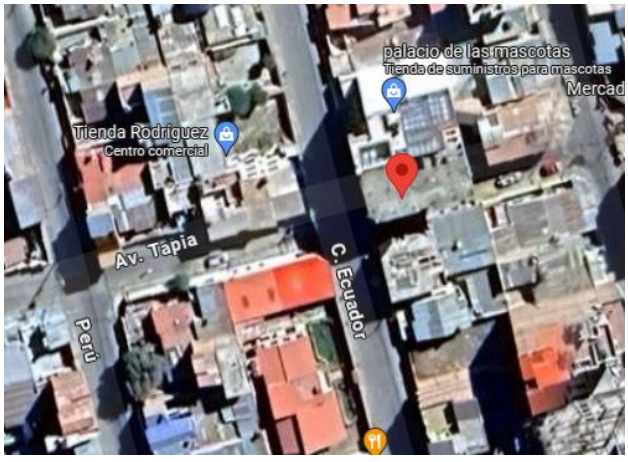
Esta investigación, parte de estimaciones teóricas y de un levantamiento de datos, realizando un aforo en la edificación residencial tipo de estudio, con el fin de realizar una evaluación con los datos obtenidos del cálculo de QMP de las diferentes metodologías aplicadas respecto a los datos obtenidos del aforo.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

3.2.1 Localización

La Edificación Residencial Tipo, del cual se levantarán los datos, se encuentra localizado en calle Ecuador. Av. Tapia del Municipio de Potosí.

Figura 3.
Croquis de ubicación de la edificación residencial de estudio.

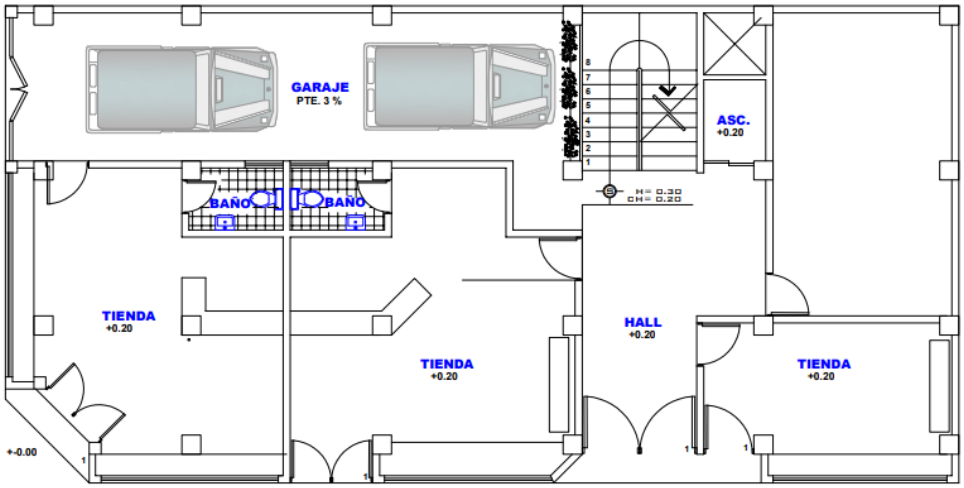


Fuente: *Google Map*

3.2.2 Plano en planta de edificación residencial a ser estudiado.

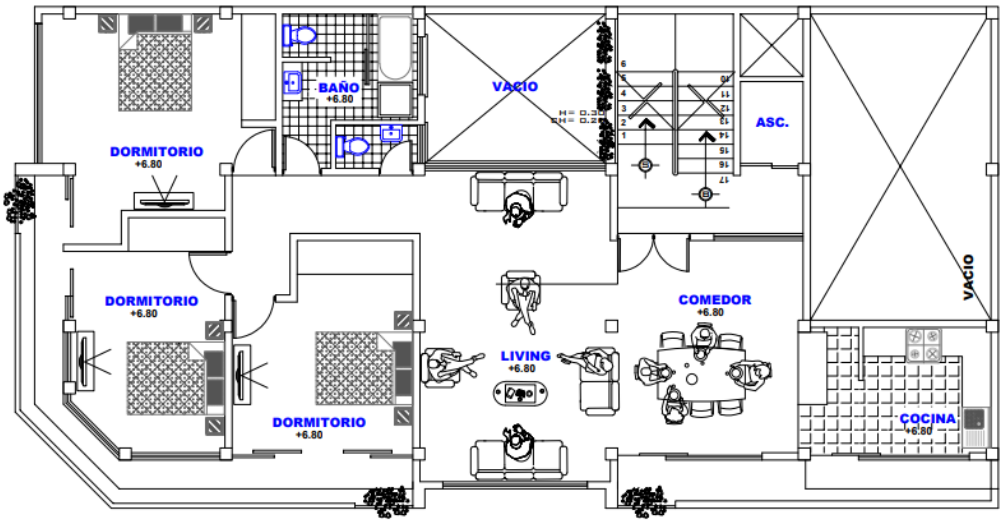
Para poder realizar un análisis comparativo de los diferentes métodos de cálculo de caudal máximo probable (Q.M.P.), se considerará las Unidades de Gasto (UG), de los diferentes artefactos sanitarios existentes en esta edificación, compuesta por:

Figura 4.
PLANTA BAJA: Tiendas, Baños, garaje.



Fuente: *Plano diseño arquitectónico Familia Quiroz*

Figura 5.
PLANTA TIPO - 1° A 3° PISO: Departamentos TIPO (dormitorios, baño, cocina)



Fuente: *Plano diseño arquitectónico Familia Quiroz*

3.2 LEVANTAMIENTO DE DATOS

Para el levantamiento de datos, se procederá a realizar el mismo mediante un Aforo de Caudal, utilizando el Método volumétrico, para el cual contaremos con recipientes de medidas determinas 2 y 5 litros, y un cronómetro para poder determinar mediante calculo, el caudal de cada artefacto sanitario.

3.2.1 Método volumétrico - Aforo de aparatos sanitarios

El caudal se calcula de la siguiente manera:

$$\mathbf{Q = V / t}$$

Volumen de agua capturado (en litros) Caudal = L

Tiempo de llenado del recipiente (en segundos) = S

Los artefactos sanitarios a ser medidos son:

Tabla 14.

Lista de artefactos sanitarios de la edificación.

Artefacto	Cantidad	Total
Planta Baja		
Lavamanos	2	2
Inodoro	2	2
1º a 3º Piso		
Lavamanos	2	6
Inodoro	2	6
Ducha	1	3
Lavaplatos	1	3
Lavadora	1	3
Total		**25**

Fuente: *Elaboración propia*

Realizando el aforo de los diferentes artefactos sanitarios existentes dentro de la Residencia de estudio, se tiene el resumen en la siguiente tabla:

Tabla 15.

Resumen de Caudal Aforado en Anexo A, de Edificación residencial Tipo.

Description		Cantidad	Caudal (l/s)	Sub total	Caudal Total (l/s)
Caudal Llave Abierta Normal	Planta Baja	1,00	0,19	0,19	0,16
Caudal Controlado		1,00	0,12	0,1225	
Caudal Llave Abierta Normal	Planta Tipo	3,00	0,87	2,61	2,05
Caudal Controlado		3,00	0,50	1,485	
Q. Promedio (l/s)					**1,1025**

Fuente: *Elaboración propia*

3.3 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO PROBABLE PARA UNA EDIFICACION RESIDENCIAL TIPO

Existen diferentes métodos de cálculo de caudal máximo probable (QMP), que son utilizados por otros países, dentro de sus normativas o reglamentos, en este trabajo de investigación analizaremos algunos de los tantos que pueden ser adaptados a nuestra realidad.

3.3.1 Método Británico.

Partiendo de lo expuesto en la teoría, para este método se debe cuantificar la cantidad y tipo de artefactos sanitarios cuenta la edificación residencial de estudio. Para determinar el caudal máximo probable (QMP) que pueda requerir el total de los artefactos, tomando como referencia los caudales de la “Tabla 6”, determinado el caudal se procede a usar la “tabla 7” para encontrar el caudal máximo probable (QMP).

Tabla 16.

Evaluación caudal máximo posible Método Británico para edificación residencial tipo

Aparato	Cantidad	Caudal Unitario (l/m)	Caudal Total (l/m)
Lavamanos	8	7,57	60,56
inodoro	8	7,57	60,56
Lavaplatos	3	15,14	45,42
Duchas	3	7,57	22,71
Lavadoras	3	15,14	45,42
Caudal Máximo Posible (l/m)			***234,67***
Caudal Máximo Posible (l/s)			***3,91***

***Fuente**: Elaboración propia*

Considerando la "Tabla 7", el **caudal máximo probable** se determina de la siguiente manera:

$$Q_p = 0.609 \cdot 3.91 \ l/s = \mathbf{2.38 \ l/s}$$

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de 1.12 l/s, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de 2.38 L/s, se observa que, para este usuario en particular, el método británico permite calcular un caudal de diseño mayor al caudal máximo instantáneo real registrado para la vivienda en el periodo de estudio, en un orden de aproximadamente 2.16 veces en caudal medido.

Tabla 17.

Resumen de caudales calculados por el Método Británico vs caudales medidos Edificio Residencial tipo

Descripción	Calculado l/s	Medido l/s	Nro. de Veces +/-
Q. Máximo (l/s)	2.38	1.10	2.16

***Fuente**: Elaboración propia*

3.3.2 Método Alemán de la Raíz Cuadrada

En este método consideramos que todas las conexiones de los aparatos que se encuentran en el edificio son de ½", se considera un factor fi= 2, para todos los aparatos. además de considerar que el número total de 25 puntos hidráulicos;

De esta manera, para la edificación reemplazando en la ecuación se tiene:

$$Q_p = 0.25 * \sqrt{25 * 2} = \textbf{2.50 l/s}$$

Para esta misma edificación se midió un caudal máximo instantáneo real de **1.10 l/s**, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de **2.50 l/s,** se observa que para esta edificación residencial tipo, el método Alemán de la Raíz Cuadrada calcula un caudal de diseño mayor al caudal aforado y registrado para la edificación en el periodo de estudio, en un total de **2.27** veces en excedencia.

Tabla 18.

Resumen de caudales calculados por el método alemán de la raíz cuadrada vs caudal medido en edificio residencial tipo

Descripción	Calculado l/s	Medido l/s	Nro. de Veces +/-
Q. Máximo (l/s)	2.50	1.10	2.27

***Fuente**: Elaboración propia*

3.3.3 Método del Factor de Simultaneidad

Este Método es aplicable ya que se cuenta con el número de artefactos sanitarios necesarios, para un adecuado cálculo del caudal máximo probable (QMP), determinamos los caudales de los diferentes aparatos sanitarios considerando los datos de "Tabla 9", sumarlos y

posteriormente, afectar los resultados por un coeficiente de simultaneidad. Esta fórmula es establecida por la Norma Francesa NP 41-204.

Tabla 19.

Evaluación caudal máximo probable Método de Factor de simultaneidad para edificación residencial tipo.

Aparato	Cantidad	Caudal Unitario (l/s)	Caudal Total (l/s)
Lavamanos	8	0,2	1,6
inodoro	8	0,15	1,2
Lavaplatos	3	0,25	0,75
Duchas	3	0,2	0,6
Lavadoras	3	0,25	0,75
Caudal Máximo Posible (l/s)			***4,9***

***Fuente**: Elaboración propia*

Se calcula el coeficiente de simultaneidad, considerando que se tiene el número total de n= 25 artefactos sanitarios:

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{(25-1)}} = \mathbf{0.204}$$

Teniendo el resultado de K_1= 0.204 > 0.2, podemos determinar el Caudal Máximo Probable como se muestra a continuación:

$$Q_p = K_1 * q_{máx} = 0.204 * 4.9\ (\mathrm{l}/s) = \mathbf{1.00\ (l/s)}$$

Con estos resultados obtenidos, se muestra que en esta edificación residencial tipo, se midió un caudal máximo instantáneo real de **1.10 l/s,** y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de **1.00 l/s,** podemos determinar que el método de simultaneidad calcula un

caudal de diseño menor al caudal aforado y registrado para la edificación en el periodo de estudio, en un total de **- 0.91** veces en decremento.

Tabla 20.

Resumen de caudales calculados por el Método de Factor de Simultaneidad vs caudal medido en edificio residencial tipo

Descripción	Calculado l/s	Medido l/s	Nro. de Veces +/-
Q. Máximo (l/s)	1.00	1.10	-0.91

***Fuente**: Elaboración propia*

3.3.4 Método Racional o español

Se realiza un cálculo similar al Factor de Simultaneidad, pero el coeficiente es definido por la ecuación desarrollada por investigadores de España, esta depende al número de aparatos conectados en una vivienda.

Se determina El caudal Mínimo probable de los diferentes artefactos sanitarios, tomando en cuenta la "*TABLA 10"* como se muestra a continuación:

Tabla 21.

Evaluación caudal máximo probable Método racional, para edificación residencial tipo.

Aparato	Cantidad	Caudal Unitario (l/s)	Caudal Total (l/s)
Lavamanos	8	0,1	0,8
inodoro	8	0,1	0,8
Lavaplatos	3	0,2	0,6
Ducha	3	0,2	0,6
Lavadoras	3	0,2	0,6
Σ Caudal Mínimo Posible (l/s)			***3,4***

***Fuente**: Elaboración propia*

Determinamos los coeficientes K_1y K_2, con las formulas establecidas:

Se calcula el coeficiente K_1, considerando que se tiene el número total de **n= 25** artefactos sanitarios:

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{(25-1)}} = \mathbf{0.204}$$

Teniendo el resultado de K_1 = 0.204 > 0.2, podemos determinar el Caudal Máximo probable obviando el cálculo de coeficiente K_2, puesto que no se trata de viviendas habitacionales.

El caudal se determinada de la siguiente forma:

$$Q_p = K_1 \cdot q_{máx} = 0.204 \cdot 3.40\,\mathrm{l}/s = \mathbf{0.694\ l/s}$$

Con estos resultados obtenidos, se muestra que en esta edificación residencial tipo, se midió un caudal máximo instantáneo real de **1.10 l/s,** y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de **0.69 l/s,** podemos determinar que el método Racional o español, calcula un caudal de diseño menor al caudal aforado y registrado para la edificación en el periodo de estudio, en un total de **- 0.63** veces.

Tabla 22.

Resumen de caudales calculados por el Método Racional vs caudal medido en edificio residencial tipo

Descripción	Calculado l/s	Medido l/s	Nro. de Veces +/-
Q. Máximo (l/s)	0.69	1.10	-0.63

***Fuente**: Elaboración propia*

3.3.5 Método Hunter RENISDA

Este método tiene como base el Método Hunter original, para determinar el Caudal Máximo probable se utilizará las tablas y/o ecuaciones mencionadas con anterioridad.

De la "*Tabla N°3*" se tiene las Unidades de Gasto para cada artefacto sanitario como se muestra a continuación:

Tabla 23.

Evaluación caudal máximo probable Método Hunter RENISDA, para edificación residencial

Aparato	Cantidad	Unidad de Gasto	U.G. Total
Lavamanos	8	1	8
inodoro	8	3	24
Lavaplatos	3	3	9
Ducha	3	2	6
Lavadoras	3	4	12
Total Unidades de Gasto (UG)			***59***
Caudal Máximo Posible (l/s) de la ***Tabla 5***			***1,12***

***Fuente**: Elaboración propia*

Con la suma de Unidad de Gasto (59), se busca en la "TABLA 5" y se determina el Caudal Máximo Probable, como se muestra a continuación:

U.G.	tanque	Válvula
58	1.11	1.90
59	**1.12**	**1.91**
60	1.14	1.93

De donde el valor de **Caudal Máximo probable es = 1.12 (l/s)**

Con estos resultados, se muestra que el caudal máximo instantáneo real aforado es de **1.10 l/s**, y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de **1.12 l/s**, podemos

determinar que el Método Hunter de RENISDA, calcula un caudal de diseño mayor al caudal aforado y registrado para la edificación en el periodo de estudio, en un total de **1.02** veces.

Tabla 24.

Resumen de caudales calculados por el Método Hunter RENISDA vs caudal medido en edificio residencial tipo

Descripción	Calculado l/s	Medido l/s	Nro. de Veces +/-
Q. Máximo (l/s)	1.12	1.10	1.02

***Fuente**: Elaboración propia*

3.3.6 Método de Hunter Colombiano

Este método, es similar a los anteriores, basándose en la determinación de las Unidades de Gasto UG, totales de la edificación residencial tipo, que se definen en función al tipo de aparato, conforme los aparatos y unidades reportadas en la "*TABLA 11*". La diferencia de este método con el de Hunter original, ocurre en la lectura del caudal máximo probable, que se obtiene de las Figuras 1 y 2, o de la "*TABLA 13*"; en la cual se realiza una reducción del caudal promedio de los aparatos respecto del que usa el método original, basados en estudios realizados en edificaciones de diferente tipo. (Ortiz Mosquera, 2007.)

Tabla 25.

Evaluación caudal máximo probable Método Hunter Colombiano para edificación residencial tipo

Aparato	Cantidad	Unidad de Gasto	U.G. Total
Lavamanos	8	1	8
Inodoro	8	3	24
Lavaplatos	3	3	9
Ducha	3	2	6
Lavadoras	3	3	9
Total Unidades de Gasto (UG)			***56***
Caudal Máximo Probable (l/s) - de la curva y la tabla respectiva			***0.6633***

***Fuente**: Elaboración propia*

De la" Tabla N° 13" se determina el Caudal Máximo Probable:

U.G.	Fluxómetro	Tanque elevado
54	1.9	0.65
56		**x**
57	1.95	0.67

De donde el valor de **X= 0.6633 (l/s)**

Con estos resultados, se muestra que el caudal máximo instantáneo real aforado es de **1.10 l/s,** y al compararlo con el valor del caudal máximo probable calculado de **0.6633 l/s,** podemos determinar que el método Hunter Colombiano, calcula un caudal de diseño menor al caudal aforado y registrado para la edificación en el periodo de estudio, en un total de **- 0.60** veces.

Tabla 26.

Resumen de caudales calculados por el Método Hunter Colombiano vs caudal medido en edificio residencial tipo

Descripción	**Calculado l/s**	**Medido l/s**	**Nro. de Veces +/-**
Q. Máximo (l/s)	0.6633	1.10	- 0.60

***Fuente**: Elaboración propia*

3.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS DE CALCULO DE CAUDAL MAXIMO PROBABLE (QMP) Y EL METODO HUNTER (RENISDA)

En este acápite, se presentará los resultados obtenidos después de realizar los cálculos de Caudal Máximo Probable, para cada metodología, asi también se mostrará como referencia el Caudal promedio aforado, para poder mostrar que metodologías se mayoran o aminoran respecto a este.

Tabla 27.

Resumen de resultados

Metodología	QMP (l/s)	Caudal Aforado (l/S)	Nº veces +/-
Método Británico	2,38	1.10	2,16
Método Alemán de Raíz Cuadrada	2,5	1.10	2,27
Método de Factor de simultaneidad	1	1.10	-0,91
Método Racional	0,694	1.10	-0,63
Método Hunter RENISDA	1,12	1.10	1,02
Método Hunter Colombiano	0,6633	1.10	-0,60

Fuente: *Elaboración propia*

3.5 ANALISIS DE RESULTADOS

En la tabla anterior se muestra los valores obtenidos de los caudales máximos probables cálculos que fueron evaluados en la presente investigación mediante seis métodos diferentes, Métodos que son empleados a nivel mundial, usados para determinar el caudal de diseño para las redes de distribución de agua interna en las diferentes edificaciones.

A continuación, realizamos el análisis de resultados de cada metodología aplicada en esta investigación:

1. **Método empírico** (Método Británico), con los resultados obtenidos se puede determinar, que es un método que exagera los caudales, duplicando en más el valor obtenido respecto al caudal aforado.

2. Respecto a los **métodos semi empíricos** estudiados, fueron 3 métodos:

    - **Método Racional**, se puede determinar considerando los resultados obtenidos que este método arroja como resultado caudales inferiores, respecto al caudal aforado y respecto al caudal obtenido por el método RENISIDA,

constituyéndose en un método que se puede recomendar para ser empleado en el diseño de redes de distribución en nuestro País.

- Así, también el **Método de Factor de simultaneidad**, es levemente inferior al caudal Aforado, y menor al caudal obtenido por el método RENISDA, pudiendo ser también un Método aplicable en el Cálculo de QMP, en nuestro País.

- En cambio, el **Método Alemán de la Raíz Cuadrada**, es el que más se aleja del caudal medido aforado, incrementando en más de 2 veces el caudal real esperado, por tanto, no se sugiere aplicar este método.

3. Los **métodos probabilísticos** aplicados en esta investigación fueron dos (2).

- El **Método Hunter de RENISDA**, que tuvo su actualización en 2011, muestra como resultado que está ligeramente en exceso en 1.02 veces al caudal medido aforado, empero ha demostrado ser una opción confiable y eficaz para estimar el caudal máximo probable en sistemas de distribución de agua potable, dada su adaptabilidad a las condiciones locales y su uso extendido en Bolivia.

- Finalmente, el **Método Hunter Colombiano**, es otro método que determina caudales inferiores, y es un método que puede ser aplicado en nuestro país, para determinar los cálculos de Caudal Máximo Probable ajustándose más a las condiciones reales.

CAPITULO 4 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

En función a los resultados obtenidos podemos determinar que:

1. Luego de la exhaustiva revisión de la bibliografía respecto del presente tema, se pudo determinar resultados en este trabajo, obtenidos de los diferentes métodos de estudio, y se pudo comparar con otras experiencias, así mismo; se logró revisar normas y/o reglamentos vigentes en nuestro y otros países.

2. El estudio preliminar del presente trabajo, incluye el aforo de caudal, mediante el método volumétrico, cuyos resultados reflejan las exigencias de caudal necesarias para una familia, que cuenta con todas las comodidades habitacionales.

3. Se realizó el estudio de las diferentes metodologías aplicadas en otros países donde se pudo determinar el Caudal Máximo Probable, dando como resultados metodologías que muestran resultados cercanos a la realidad, pudiendo ser considerados y aplicados en nuestro país para el Cálculo de QMP.

4. La precisión de los resultados es crucial para garantizar un diseño adecuado de los sistemas de distribución de agua potable. Se debe evaluar la precisión y la confiabilidad de cada método.

5. Por tanto, en respuesta al objetivo general se puede recomendar que:

    - El Método Hunter que fue modificado en sus ecuaciones en 2011, pese a tener un resultado mínimamente mayor al aforado, muestra ser una herramienta en la cual se puede confiar, para poder estimar el caudal máximo probable en sistemas de distribución de agua potable en nuestro país y Potosí. Su adaptabilidad a las condiciones locales y su uso extendido en Bolivia respaldan su validez como método de referencia.

    - Pero también, se puede recomendar, que tanto el Método Racional, Método de Factor de Simultaneidad, así como el Método Hunter Colombiano, muestran

Caudales aproximados a la realidad, más aún ahora que la tecnología en los nuevos artefactos sanitarios que están a disposición en el mercado, solicitan que se considere el poder plantear mejoras para determinar el Caudal Máximo Probable.

4.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones necesarias para mejorar esta investigación son las siguientes:

1. Tener cuidado al momento de realizar el aforo de caudales, puesto que al ser una medición manual este puede tener errores de precisión, por lo tanto, lo ideal es poder contar con un aparato digitalizado, que pueda medir el caudal de salida de cada aparato sanitario.
2. Para poder tener una idea clara de este trabajo de investigación, es necesario realizar las mediciones para diferentes tipos de infraestructuras, y así obtener caudales promedio que puedan validar esta investigación.
3. Es importante que los encargados de realizar el suministro de agua, realicen un control y calculo adecuado del caudal que es dotado a cada familia. Optimizar la utilización de agua, desde su captación hasta su uso en los diferentes aparatos sanitarios, debe ser una finalidad, ya que debido al escases por el que atraviesan los diferentes departamentos del País, ocasionado por los cambios climatológicos, hace necesario evitar derrochar este líquido elemento.
4. Los métodos seleccionados para calcular el QMP deben ser fácilmente aplicables por los profesionales encargados del diseño y la planificación de sistemas de distribución de agua en nuestro país y más propiamente en la ciudad de Potosí. La adaptabilidad y la simplicidad de uso son aspectos importantes a considerar.
5. Por tanto, las diferentes instituciones encargadas de suministrar el agua, deben ser los encargados de incentivar a realizar estudios de medición de consumo de agua, para de esta manera, determinar con exactitud los caudales necesarios para los usuarios, y evitar en el futuro escases del mismo.

BIBLIOGRAFIA.

Castro, N., Garzón, J. E., et al. (2006). "Adaptación del método de Hunter para las condiciones locales de Colombia." In: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, SEREA, Joao Pessoa, Brasil.

Pancorbo, F.J. (2011). "Coeficiente de simultaneidad en las instalaciones de agua en las edificaciones".

Aksela, K., Aksela, M. (2008). "Demand estimation with automated meter reading in a distribution network". American Society of Civil Engineers

Zamora, R. (2013). Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones.

Hobbs, I., Anda, M., & Bahri, P. A. (2019). Estimating peak water demand: Literature review of current standing and research challenges. *Results in Engineering*, *4*(May), 100055. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100055

ÁLVAREZ, R. A. (2013). Evaluación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en EDIFICACIONES.

Nelson Yovani Castro Ladino, J. E. (2006). APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PROBABLES INSTANTÁNEOS, EN EDIFICACIONES DE DIFERENTE TIPO .

RENISDA. (8 de abril de 2011). REGLAMENTO NACIONAL DE INTALACIONES SANITARIAS.

https://vdocuments.net/coeficientesimultaneidadenlasinstalaciones1.html

ANEXOS

ANEXO 1.

Caudales Aforados PLANTA TIPO 1° A 3°

Descrip.	Sistema	Lavamanos		Lavaplatos		Lavanderia		Ducha		Sanitario	
		Llave abierta normal	Caudal Controlado	llave abierta normal	Caudal Controlado	llave abierta normal	Caudal Controlado	llave abierta normal	Caudal Controlado	llave abierta normal	Caudal Controlado
		Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg
PLANTA TIPO 1°-3°	Tanque Elevado	0,15	0,08	0,15	0,10	0,33	0,17	0,19	0,09	0,05	0,00
		0,15	0,08	0,16	0,09	0,32	0,17	0,19	0,09	0,06	0,00
		0,15	0,08	0,17	0,09	0,30	0,17	0,19	0,09	0,06	0,00
Caudal Maximo:		0,15	0,08	0,17	0,1	0,33	0,17	0,19	0,09	0,06	
Caudal Minimo:		0,15	0,08	0,15	0,09	0,3	0,17	0,19	0,09	0,05	
Caudal Promedio:		**0,15**	**0,08**	**0,16**	**0,10**	**0,32**	**0,17**	**0,19**	**0,09**	**0,06**	**0,06**

Fuente: *Elaboración Propia*

ANEXO 2.

Caudales Aforados PLANTA BAJA

Descrip.	Sistema	Lavamanos		Lavaplatos		Lavanderia		Ducha		Sanitario	
		Llave abierta normal	Caudal Controlado	llave abierta normal	Caudal Controlado	llave abierta normal	Caudal Controlado	llave abierta normal	Caudal Controlado	llave abierta normal	Caudal Controlado
		Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg	Caudal lts/seg
PLANTA BAJA	Tanque Elevado	0,14	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
		0,13	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
		0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
Caudal Maximo:		0,14	0,065	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	
Caudal Minimo:		0,13	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	
Caudal Promedio:		**0,13**	**0,06**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,06**	**0,06**

Fuente: *Elaboración Propia*

ANEXO 3.

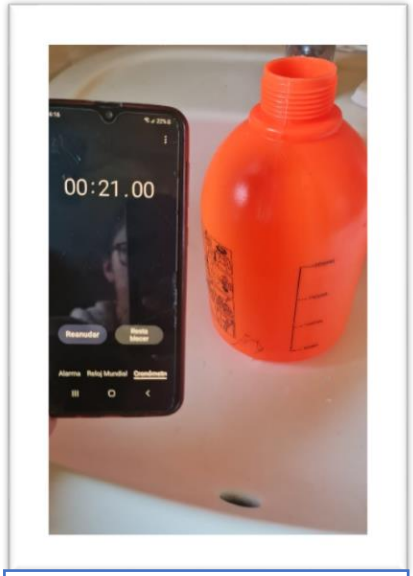
Resumen Caudal promedio Aforado – Edificación Residencia Tipo

Description		Cantidad	Caudal (l/s)	Sub total	Caudal Total (l/s)
Caudal Llave Abierta Normal	Planta Baja	1,00	0,19	0,19	0,16
Caudal Controlado		1,00	0,12	0,1225	
Caudal Llave Abierta Normal	Planta Tipo	3,00	0,87	2,61	2,05
Caudal Controlado		3,00	0,50	1,485	
Q. Promedio (l/s)					**1,1025**

Fuente: *Elaboración Propia*

ANEXO 4.

Fotografías de aforo de caudal de agua.



Aforo de caudal en Lavamanos

Aforo de caudal en Lavaplatos

Fuente: *Elaboración Propia*