



Universidad Nacional  
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-103 T.E.

23  
60

Señor AURELIO ESTRADA SANCHEZ,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Enrique Chiñas de la Torre, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"APLICACION DE LAS COMPUTADORAS EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES  
SANITARIAS EN EDIFICIOS"

- I. Introducción.
- II. Métodos existentes para el cálculo de una instalación hidráulica.
- III. Aplicación de las computadoras y evaluación del método óptimo.
- IV. Métodos existentes para el cálculo de una instalación sanitaria y aplicación de las compu-tadoras.
- V. Conclusiones y recomendaciones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indis-pensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposi-ción de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 6 de mayo de 1983  
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

No puedo decir con palabras, el profundo agradecimiento que siento hacia el Ingeniero PEDRO REYES GINORI y que en mínima parte se expresa al dedicarle este trabajo, por su gran ayuda en la corrección ortográfica y de estilo, sin la cual esta exposición no habría alcanzado esta presentación.

Mi agradecimiento sincero, a los profesores y funcionarios de la División de Ciencias Básicas de esta facultad, así como del Departamento de Mecánica, por las facilidades brindadas directa o indirectamente, para la mecanografía de este trabajo.

Quiero expresar mi agradecimiento; a los profesores de la División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica por las experiencias y por la riqueza intelectual que se me proporcionaron; a los compañeros y empleados de la facultad por los momentos agradables en que alternamos y, así mismo, a muchos de los compañeros de trabajo y funcionarios de la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria de la Secretaría de Educación Pública que me ayudaron al principio de la carrera.

Dedico este trabajo:

A mi esposa LUCILA MARIN DE ESTRADA y a mi suegra TERESA ROLDAN Vda DE MARIN, quienes sin su ayuda y esfuerzo, no habría sido posible su culminación.

A mi hijo MARCO AURELIO IVAN, como un estímulo para salvar todos los obstáculos que se le presenten, en sus deseos de superación.

Y, a mis padres LEOBARDO ESTRADA MORENO y MARIA LUISA SANCHEZ de ESTRADA, y a mis hermanos LEOBARDO, RODRIGO, AMALIA, JUAN PABLO, MARIA ELENA, SARA, IRMA, JOSE SAMUEL y ANA LUISA. con -  
cariño.

## P R O L O G O

El objetivo principal del presente trabajo es el de recopilar todos los métodos aplicables al cálculo del diseño, tanto de la instalación hidráulica como de la instalación sanitaria o de drenaje de un edificio. Los derechos de los estudios que se examinan son propiedad del autor de cada método; me reservo únicamente los comentarios, el análisis de los resultados y los juicios emitidos al escoger el método óptimo.

Lo que se pretende al emprender la recopilación aludida es la aplicación de las computadoras para la obtención del gasto de diseño de un sistema de distribución de agua, utilizando el método óptimo escogido.

Con respecto al contenido, en el primer capítulo—Introducción—se hace una descripción de las partes componentes de una instalación de plomería. En el segundo capítulo se efectúa una extensa revisión de las fuentes de información referidas a las instalaciones hidráulicas, para buscar los métodos de diseño mencionados, a fin de que en el capítulo tercero, previa evaluación del método óptimo, se lleve a cabo la aplicación de las computadoras en éste. En el capítulo cuarto se hace la descripción de los métodos encontrados para el cálculo de la instalación de drenaje, así como la evaluación que permite seleccionar el mejor de ellos. En el capítulo quinto se ponen de relieve las más importantes conclusiones y recomendaciones.

Finalmente, se incorporan dos apéndices, el primero de los cuales consiste de algunas tablas y gráficos cuya consulta complementa la descripción del método correspondiente. El segundo apéndice se utiliza para incluir los cálculos numéricos, previos a la obtención de las ecuaciones que servirán para encontrar el gasto de diseño por medio del método de Hunter.

No se pretende, con esta investigación, que sirva únicamente como requisito para obtener la licenciatura, ni tampoco para que sea guardada en los anaqueles o para que sea archivada como una tesis más, de las tantas que se hacen. Fue dedicado un gran esfuerzo para presentar un trabajo de calidad, cuidando en todo momento la presentación, el contenido y la forma, con el ferviente deseo para que sea utilizada como consulta, por los que estudian dentro del área de ingeniería sanitaria, además de quedar abierta la posibilidad de una continuación en futuras publicaciones .

## C O N T E N I D O

Agradecimientos y dedicatorias . . . . .	I
Prólogo . . . . .	III
Contenido . . . . .	V

## I INTRODUCCION

I.1 Eficiencia y seguridad de las instalaciones . . . . .	2
I.2 Instalación hidráulica . . . . .	2
I.3 Instalación de aparatos, equipos y accesorios sanitarios . . . . .	3
I.4 Instalación sanitaria . . . . .	4

II METODOS EXISTENTES PARA EL CALCULO DE UNA INSTALACION  
HIDRAULICA

II.1 Planeación. Presupuestos . . . . .	7
II.2 Gasto de diseño en una instalación hidráulica . . . . .	8
II.3 Métodos empíricos y métodos probabilísticos . . . . .	10
II.4 Método británico . . . . .	11
II.5 Método de Dawson y Bowman . . . . .	13
II.6 Método de Dawson y Kalinske . . . . .	15
II.7 Método de Kessler . . . . .	17
II.8 Método americano. Primer procedimiento . . . . .	18
II.9 Método alemán de la raíz cuadrada . . . . .	22
II.10 Método propuesto por la Sociedad Impulsora del Cobre . . . . .	24
II.11 Método americano. Segundo procedimiento . . . . .	31
II.12 Métodos Franceses . . . . .	35
II.13 Método de Wise y Croft . . . . .	41
II.14 Método probabilístico de Hunter . . . . .	46
II.14.1 Fundamentos del método . . . . .	47
II.14.2 Aplicación de la teoría de probabilidades a un sistema sencillo . . . . .	48
II.14.3 Aplicación del método a un sistema mixto . . . . .	55

II.14.4	Determinación de las unidades de consumo-mueble . . . . .	60
III	APLICACION DE LAS COMPUTADORAS Y EVALUACION DEL METODO OPTIMO	
III.1	Evaluación del método óptimo . . . . .	67
III.2	El método probabilístico de Hunter, el óptimo . . .	70
III.3	Aplicación de las computadoras . . . . .	73
IV	METODOS EXISTENTES PARA EL CALCULO DE UNA INSTALACION SANITARIA Y APLICACION DE LAS COMPUTADORAS	
IV.1	Métodos para encontrar el diámetro en una instalación sanitaria . . . . .	81
IV.2	Método del código norteamericano o de Hunter . . .	82
IV.3	Método americano. Tercer procedimiento . . . . .	85
IV.4	Método de las normas francesas . . . . .	89
IV.5	Evaluación del método óptimo . . . . .	91
IV.6	Aplicación de las computadoras . . . . .	92
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
V.1	Conclusiones . . . . .	93
V.2	Recomendaciones . . . . .	95
Apéndice A	. . . . .	96
Apéndice B	. . . . .	105
Notas bibliográficas	. . . . .	110
Bibliografía	. . . . .	114

## I. INTRODUCCION

En primer lugar se hará una breve descripción de las instalaciones de plomería en un edificio, adoptando la definición que para edificios propone el *Reglamento de Ingeniería Sanitaria* (1) y, a continuación, se establecen algunos conceptos que se emplearán en el desarrollo de este trabajo.

Toda instalación de plomería en un edificio comprende tres partes fundamentales que se encuentran íntimamente relacionadas, las cuales son: a) las instalaciones hidráulicas, b) las instalaciones de aparatos, equipos y accesorios sanitarios y c) las instalaciones sanitarias propiamente; estas tres partes permiten transportar dentro de un edificio agua y otros fluidos desde el lugar de suministro hasta los aparatos, los equipos y accesorios donde es utilizada y, a partir de éstos, los fluidos o el agua desaprovechada se conduce hasta la red de alcantarillado público o a los lugares donde pueda disponerse sin peligro.

## I.1 EFICIENCIA Y SEGURIDAD DE LAS INSTALACIONES

Una casa unifamiliar o, en general una edificación, tiene en promedio más de 100 m de tubería en sus paredes, en sus pisos y en el suelo que la rodea; por lo tanto el recorrido que efectúa el fluido debe hacerlo en forma segura, en silencio y sin peligro para la propia familia o para los demás miembros de la comunidad. Por esta razón debe también efectuarse el tendido de la tubería, la colocación de los aparatos sanitarios y la apertura de canales, de tal forma que no afecte a elemento estructural alguno, evitando perforar vigas, columnas, etc. Estos trabajos de plomería deben quedar incorporados formando un todo con el edificio, lo mismo las reparaciones o ampliaciones que se hagan.

## I.2 INSTALACION HIDRAULICA

La instalación hidráulica, también llamada sistema de alimentación de agua potable, consiste en una línea de entrada que empieza en la *acometida*, nombre que se le da al sitio que une la línea particular con el conducto de servicio público (si se abastece de un pozo privado, la línea de entrada comenzará en el pozo mismo), y termina en el medidor; a continuación se encuentran la válvula principal de entrada, cerca del medidor, después un depósito o cisterna y el sistema de tuberías que lleva el agua a depósitos elevados o directamente a toda la edificación, ya sea que se trate de distribuirla por gravedad o presión, mediante una bomba, entregándola finalmente al usuario a través de los aparatos sanitarios o pasando antes por un calentador para proveer de agua caliente.

Las válvulas de cierre colocadas después de cada depósito ele

vado, así como las válvulas de los aparatos o de algún equipo especial, útiles cuando se repara algún tramo de tubería o aparato, forman parte también de lo que es la instalación hidráulica.

La tubería de distribución de agua potable, la cual es objeto de los métodos de diseño descritos en el siguiente capítulo, consta de diversos elementos tales como los *montantes*, que son tubos utilizados para subir el agua a los tinacos; después de estos depósitos se colocan los *tubos matrices*, uno solo desde dicho depósito hasta el calentador y posteriormente dos: uno de agua fría y otro de agua caliente; este último puede formar un circuito con el calentador para hacer circular el agua caliente constantemente. En seguida vienen los *tubos ramales*, que pueden ser también de agua fría o caliente, mismos que parten de los tubos matrices y van hasta los aparatos sanitarios, surtiendo a un solo aparato cada ramal, aunque pueden hacerlo a más si se aumenta ligeramente el diámetro.

Las partes de tubo matriz, ramales y montantes que suben por las paredes se llaman *tuberías ascendentes* (2) o columnas.

### I.3 INSTALACION DE APARATOS, EQUIPOS Y ACCESORIOS SANITARIOS

Los aparatos pueden dividirse en tres grupos, según el uso a que se destinen: a) *Evacuadores*, como los excusados, mingitorios, bidés; b) *Limpieza de objetos*, como los fregaderos de cocina, lavaderos y c) *Higiene corporal*, tales como los lavabos, tinas de baño o regaderas y algunos otros que pueden quedar clasificados en cualesquiera de los mencionados.

Su doble carácter de terminales de la instalación hidráulica y de origen de la instalación sanitaria o de drenaje hace que sean los que determinen el uso del agua en forma conveniente,

así como el volumen de aguas servidas que debe evacuarse (3); consecuentemente, sirven de base para fijar las características de las bombas y para el análisis en el diseño de los diámetros, tal como se detalla en los subsecuentes capítulos.

Los equipos sanitarios consisten, por ejemplo, en pequeños filtros que purifican o *suavizan* el agua, colocados en casas particulares o edificios de departamentos ubicados en zonas donde el agua llega con cierta dureza y/o alcalinidad. En algunos casos en los que el agua suele contaminarse por deterioros en las tuberías de desagüe o en los albañales; además del suavizador de agua se colocan algunos otros equipos de tratamiento. Una parte importante del equipo es el calentador de agua, y las calderas en ciertos casos, los más comunes son los que utilizan gas, petróleo, diesel o electricidad.

Los accesorios sanitarios son todos aquellos elementos que, en general, se colocan en los cuartos de baño, por ejemplo los toalleros, las jaboneras, los tapones para los lavabos o para las tinas de baño, tanto de cadena como de palanca, los accesorios suministradores de jabón, los portapapeles, los ceniceros y muchos más que podríamos mencionar.

#### I.4 INSTALACION SANITARIA

Es aquella constituída por el conjunto de tuberías cuya función es conducir las aguas servidas, ya sea con materia orgánica susceptible de rápida descomposición, o bien sin ella, tan pronto como sea posible fuera del edificio llevándolas al alcantarillado público. Los gases producidos por dicha descomposición dentro de ese sistema pueden invadir las habitaciones; por esta razón se impone establecer una barrera contra el paso de los gases a través de los aparatos, instalando un

tubo en forma de S llamado *Sifón*, mediante el cual se retiene una porción del agua descargada, formándose así dicha barrera.

Todas las partes del sistema de drenaje, tales como colectores, bajantes y ramales deben ser de una capacidad sobrada y tener la inclinación apropiada para que arrastren todos los desechos por simple gravedad.

En ocasiones, las repentinas y a menudo rápidas descargas de agua en los bajantes pueden dar lugar a presiones y depresiones en el sistema y probablemente arrastrarían el agua retenida en los sifones; por esta razón los bajantes deben estar abiertos por su extremo superior, de manera que penetre por ellos y por los ramales una cantidad suficiente de aire que equilibre la presión, diluya los gases y reduzca la corrosión.

Otra parte de la instalación sanitaria que también es importante se refiere a los *bajantes de aguas pluviales* y al *desagüe de los patios*. Es usual empalmarlos a un solo colector de agua de lluvia que desemboque en el alcantarillado general, debiendo estar provisto de un sifón antes de la acometida, así como de registros de limpieza en toda la sección. Los bajantes pueden instalarse dentro o fuera del muro exterior del edificio, evitando que por ellos se evacúen las aguas servidas o las de desecho, o bien que sirvan de conductos de ventilación.

## II. METODOS EXISTENTES PARA EL CALCULO DE UNA INSTALACION HIDRAULICA

Después de describir brevemente los componentes del sistema de plomería de un edificio, se abordará la parte medular objeto de esta investigación: los métodos que existen para el diseño del gasto en las tuberías. Se debe aclarar que con estos métodos sólo se obtendrán los gastos de diseño —paso intermedio— en la determinación de los diámetros para una óptima y económica funcionalidad—, teniendo en cuenta que los tubos conducen cierta cantidad de agua necesaria; más allá de determinado diámetro conducirá agua en exceso que se desperdiciaría.

### II.1 PLANEACION. PRESUPUESTOS

Las tuberías de agua potable no deben instalarse hasta haber

considerado cuidadosamente los detalles que afectan al presupuesto, al adecuado servicio inmediato, al probable servicio futuro y a su accesibilidad para la vigilancia, modificaciones y reparaciones.

La Secretaría de Salubridad y Asistencia, tomando en cuenta la importancia que tiene la instalación de redes de agua potable y aguas negras, editó un manual de plomería (4) en el cual especifica que la *planeación* de una instalación debe considerar escrupulosamente los puntos que a continuación se enlistan:

1. Un diseño cuidadoso que se ajuste a las necesidades del proyecto arquitectónico, procurando agrupamientos compactos de muebles sanitarios, así como alineación vertical de áreas de servicio.
2. Emplear materiales que reúnan las normas oficiales de calidad.
3. Utilizar mano de obra altamente calificada.
4. Protección de las tuberías mediante aislamientos adecuados contra el intemperismo y la acción de suelos corrosivos, (suelos de barro naturalmente ácidos o suelos compuestos que contengan cenizas o escorias, o en el caso del plomo y del zinc, yeso o cemento). La brea, el calafateo o forro bituminoso son los medios usuales para lograrlo. También es aconsejable la protección contra congelación en climas fríos, mediante revestimientos de fibra de asbesto.
5. En la instalación se tendrá muy en cuenta su buena aparencia, procurando el mayor acceso posible a todas las partes componentes de la instalación, para posibles reparaciones.
6. Prever que todas las tuberías se puedan vaciar completamente evitando caídas en forma de U o similares, que son la causa básica de la formación de trampas de aire.
7. Dimensionamiento correcto. Los diámetros de la tubería deben ser tales que la presión disponible exceda la resistencia friccional en ellos en la medida justa, para prever que el flujo adecuado en los muebles permanezca inafectado por el uso simultáneo de otras unidades.
8. Verificar que los trabajos sean debidamente ejecutados.

El análisis detallado de cada uno de estos incisos equivaldría

a llenar demasiadas páginas. Por ejemplo, con respecto al inciso número 2, se tendría que llevar a cabo una extensa descripción de los materiales existentes en el mercado, como el cobre, el hierro galvanizado, las tuberías de policloruro de vinilo (PVC); lo mismo se puede decir con respecto a la instalación sanitaria. Además de esto, faltaría estudiar los sistemas de unión o conexiones.

Así mismo, los aparatos, equipos y accesorios sanitarios son los que tienen más diversidad de cualidades entre todo lo que se usa en plomería. El detalle de su diseño, las características de funcionalidad y los costos, son aspectos que salen del objetivo del presente trabajo.

También se omitirán los métodos para calcular cantidades de materiales, presupuestos, así como el análisis de los precios, si bien constituyen un renglón de interés para el usuario o para el contratista.

En resumen, la descripción y análisis de cada uno de estos tópicos sería objeto de otros tantos temas de tesis.

## II.2 GASTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACION HIDRAULICA

El problema de la determinación del diámetro de tubería requerido para las diferentes partes de un sistema de distribución de agua potable, es un tanto complicado, en especial cuando se refiere a un edificio de departamentos, debido al hecho de que sus aparatos sanitarios se operan en forma intermitente y con frecuencia irregular. El Código Nacional de Plomería de los Estados Unidos de Norteamérica (5) resuelve este problema en dos partes sucesivas:

- 1) Determinando primero el gasto de diseño que tiene el sistema (también se diseñará el porcentaje de flujo para cada tubo). y
- 2) Con el gasto de diseño establecido se determina el diámetro de tubería que se utilizará.

Los investigadores, en su mayoría de origen europeo y algunos de Norteamérica, coinciden, al desarrollar sus métodos, en que la frecuencia de uso o simultaneidad es un factor determinante.

El análisis para llegar a un valor de dicha frecuencia ha tomado en cuenta que los diferentes tipos de aparatos no están en uso uniforme durante el día. Los aparatos del cuarto de baño, por ejemplo, están comúnmente en uso más frecuente por las mañanas, cuando los ocupantes se levantan; también antes de acostarse en la noche y, recientemente, durante los intermedios de los programas de televisión. El fregadero de cocina es usado intensamente antes y después de la hora de comer. Tanto el lavadero como la lavadora son usados más frecuentemente durante las últimas horas de la mañana.

Después de la medianoche y hasta cerca de las 6 de la mañana el uso de los aparatos sanitarios es mínimo; al sumar el tiempo total en que se encuentran operando diariamente, puede observarse que es insignificante comparado con el tiempo en que no están en operación. Esto significa que es innecesario diseñar para el *gasto potencial máximo*, excepto para pequeños sistemas o para abastecimiento y drenaje de aparatos individuales, siendo el gasto potencial máximo aquél cuyo flujo se originaría por la operación simultánea de todos los aparatos. Para este caso el diámetro de la tubería sería mucho mayor de lo que en realidad se necesita y el costo demasiado alto.

### II.3 METODOS EMPIRICOS Y METODOS PROBABILISTICOS

La determinación del gasto de diseño en las instalaciones hidráulicas y sanitarias de los edificios no es fácil de resolver; implica no sólo la gran variedad de aparatos sanitarios y la dependencia de su uso, como ya se ha dicho, si no también las necesidades y costumbres particulares de cada individuo.

Otros investigadores prescriben que se considere funcionando simultáneamente un tanto por ciento del total de aparatos; por ejemplo, un treinta por ciento. Esto es inexacto, pues las condiciones de funcionamiento varían mucho de unos casos a otros. Además, se comprende en seguida que si hay muy pocos aparatos no es difícil que ocurra que funcionen todos a un tiempo (el ciento por ciento). En cambio, si se trata de muchos aparatos, es probable que sólo actúe un pequeño porcentaje en forma simultánea.

Es por lo anterior que se han desarrollado métodos distintos para la determinación del gasto de diseño, todos los cuales pueden clasificarse en dos grandes grupos: los métodos empíricos y los métodos probabilísticos.

En los primeros, para cualquier número dado de aparatos sanitarios de un sistema, se supone un número menor o igual en operación simultánea; esta decisión, si bien es arbitraria, se basa en la experiencia y el discernimiento. Los métodos empíricos dan los mejores resultados cuando se aplican a sistemas de un número reducido de aparatos.

Los métodos probabilísticos, en los cuales la teoría de la probabilidad se aplica para la obtención de un cierto factor de simultaneidad, son los más adecuados para la determinación del

gasto de diseño en sistemas que contengan gran cantidad de aparatos. Aunque son más generales, también pueden aplicarse al diseño de pequeños sistemas, obteniéndose resultados análogos a los que se obtendrían si se aplicara cualquiera de los métodos empíricos.

A continuación serán descritos cada uno de los métodos empíricos y posteriormente los probabilísticos.

#### II.4 EL METODO BRITANICO

Este método empírico fue desarrollado en cierto instituto de ingeniería de Londres, por un grupo de personas con amplia experiencia en el diseño de sistemas de plomería. Producto de su experiencia es la tabla de *demanda probable simultánea* en la que se cosignan diferentes gastos potenciales(6). A continuación se transcribe dicha tabla.

## T A B L A II.1

PORCENTAJE DE REQUERIDO POR ALGUNOS  
APARATOS SANITARIOS

	gpm	lpm <sup>1</sup>
Baño privado . . . . .	5	22.73
Baño público . . . . .	8	36.37
Fregadero . . . . .	4	18.18
Taza . . . . .	2	9.09
Regadera de rocío . . . . .	2	9.09
Regadera de 4" (10 cm)	4	18.18
Regadera de 6" (15 cm)	8	36.37

<sup>1</sup> Para la conversión se utilizó el valor del Galón imperial  
equivalente a 4.55 ℓ

## DEMANDA SIMULTANEA PARA UN DETERMINADO NUMERO DE APARATOS

Gasto potencial máximo		Demanda probable simultánea		Gasto potencial máximo		Demanda probable simultánea	
gpm	lpm	gpm	lpm	gpm	lpm	gpm	lpm
12 <sup>2</sup>	54.55	12	54.55	81	368.23	37	168.20
14	63.64	13	59.10	84	381.86	39	177.29
16	72.74	14.5	65.92	107	486.42	42	190.93
18	81.83	16	72.74	123	559.16	45	204.57
20	90.92	17.5	79.56	142	645.53	48	218.21
23	104.56	19	86.37	163	741.00	52	236.39
26	118.20	20.5	93.19	188	854.65	56	254.58
30	136.38	22.5	102.29	216	981.94	61	277.31
35	159.11	24	109.10	248	1,127.41	65	295.49
40	181.84	26	118.20	286	1,300.16	71	322.77
46	209.12	28	127.29	329	1,495.63	77	350.04
53	240.94	30	136.38	378	1,718.39	85	386.41
61	277.31	32	145.47	435	1,977.51	95	431.87
71	322.77	34	154.56	500	2,273.00	104	472.78
				+ de 500	2,273.00	20% del gasto máximo	

<sup>2</sup> Para gastos potenciales de 12 gpm o menores se diseña con el  
100% del gasto máximo.

En este método se requiere el gasto potencial máximo de cada elemento del sistema. Para encontrarlo se suman los gastos de todos los aparatos abastecidos por un tubo matriz; se entra a la tabla con esta suma, ya sea en galones por minuto o en litros por minuto, y se lee en la siguiente columna, a la misma altura, la máxima demanda probable. Este flujo será el gasto de diseño que debe transportar ese tubo matriz en particular.

## II.5 EL METODO DE DAWSON Y BOWMAN

Es un método empírico análogo al método británico, ideado por F. M. Dawson y J. S. Bowman de la Universidad de Wisconsin ( 7 ) . Ellos prepararon una tabla con el número total de aparatos sanitarios, que requieren tanto pequeñas como grandes casas unifamiliares, así también edificios que no tengan más de seis departamentos.

En la preparación de su tabla se basaron en que la teoría de la probabilidad es de dudosa aplicación si el número de aparatos es pequeño, pues entonces dicha teoría determina frecuencias de uso muy grandes. Así, estos investigadores justifican la adopción de un valor empírico obtenido a partir de su experiencia y su criterio. La tabla II de su documento se reproduce a continuación.

TABLA II.2

FLUJOS REQUERIDOS PARA USARSE EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
DISTRIBUCION DE AGUA EN LAS INSTALACIONES DE RESIDENCIAS PEQUEÑAS

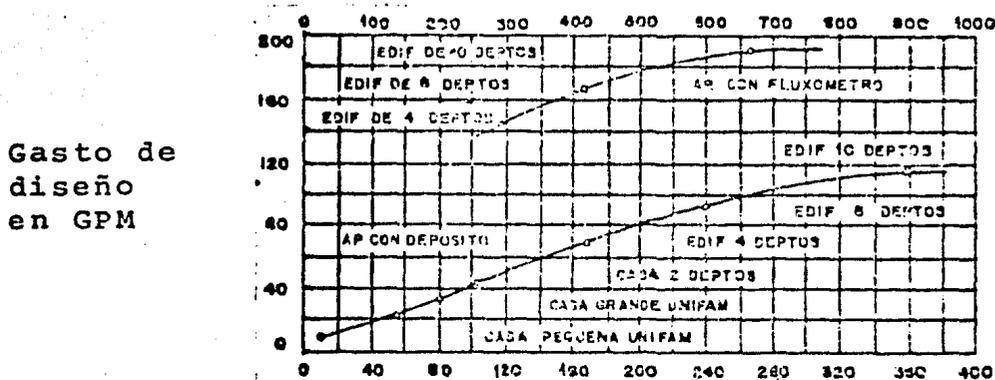
Tipo de edificio o casa	Aparatos sanitarios	Flujo del total de aparatos		Flujo de los apa- ratos en uso si- multáneo	
		gpm	lpm	gpm	lpm
Pequeña casa unifamiliar	2 grifos en la entrada	10.0	37.85	5.0	18.93
	2 lavaderos	16.0	60.56	8.0	30.28
	1 fregadero de cocina	7.5	28.39	-	-
	1 lavabo	5.0	18.93	5.0	18.93
	1 excusado ( <sup>1</sup> )	3.0	11.36	3.0	11.36
	1 tina de baño	10.0	37.85	-	-
		<u>51.5</u>	<u>194.93</u>	<u>21.0</u>	<u>79.49</u>
Casa grande unifamiliar	2 grifos en la entrada	10.0	37.85	5.0	18.93
	2 lavaderos	16.0	60.56	8.0	30.28
	1 fregadero de cocina	7.5	28.39	-	-
	3 lavabos	15.0	56.78	5.0	18.93
	3 excusados	9.0	34.07	3.0	11.36
	2 tinas de baño	20.0	75.70	10.0	37.85
		<u>77.5</u>	<u>293.34</u>	<u>31.0</u>	<u>117.34</u>
Casa de dos departamentos	2 grifos en la entrada	10.0	37.85	5.0	18.93
	4 lavaderos	32.0	121.12	16.0	60.56
	2 fregaderos de cocina	15.0	56.78	7.5	28.39
	2 lavabos	10.0	37.85	5.0	18.93
	2 excusados	6.0	22.71	3.0	11.36
	2 tinas de baño	20.0	75.20	-	-
		<u>93.0</u>	<u>352.01</u>	<u>36.5</u>	<u>138.15</u>
Edificio de cuatro departamentos	2 grifos en la entrada	10.0	37.85	5.0	18.93
	6 lavaderos	48.0	181.68	24.0	90.84
	4 fregaderos de cocina	30.0	113.55	15.0	56.78
	4 lavabos	20.0	75.70	5.0	18.93
	4 excusados	12.0	45.42	6.0	22.71
	4 tinas de baño	40.0	151.40	-	-
		<u>160.0</u>	<u>605.60</u>	<u>55.0</u>	<u>208.18</u>
Edificio de seis departamentos	2 grifos en la entrada	10.0	37.85	5.0	18.93
	8 lavaderos	64.0	242.24	24.0	90.84
	6 fregaderos de cocina	45.0	170.33	21.5	81.38
	6 lavabos	20.0	75.70	10.0	37.85
	6 excusados	18.0	68.13	6.0	22.71
	6 tinas de baño	60.0	227.10	10.0	37.85
		<u>227.0</u>	<u>859.20</u>	<u>76.5</u>	<u>289.55</u>

(<sup>1</sup>) Se supone que todos los excusados son del tipo de depósito. Si algún fluxómetro es instalado se asignarán 30 gpm (113.55 lpm) por cada uno. Para la conversión de unidades se utilizó el Galón americano = 3.785ℓ

Si se construye el gráfico de los valores obtenidos en la tabla II.2 colocando en el eje horizontal los datos del flujo total de los aparatos, o sea el gasto potencial, y en el eje vertical los datos del flujo de los aparatos operados simultáneamente, o gasto de diseño, se obtienen las curvas de la figura II.1 siguiente:

FIGURA II.1  
CURVAS DE GASTO DE DISEÑO DE DAWSON Y BOWMAN

Gasto potencial con aparatos  
de fluxómetro en GPM



Gasto potencial con aparatos  
de depósito en GPM

Los autores recomiendan el uso de esta tabla, o del gráfico, en el diseño de los diámetros de la instalación hidráulica en residencias y pequeños edificios de departamentos.

## II.6 METODO DE DAWSON Y KALINSKE

En otra publicación, F. M. Dawson y A. A. Kalinske (8), auspiciados por la Asociación Nacional de Técnicos Plomeros de los Estados Unidos de Norteamérica, presentan un método más general, supuestamente empírico, ya que no explican los criterios en que se basaron para obtener los valores que consignan en sus dos tablas.

La primera de ellas, la tabla II de la publicación transcrita aquí como la tabla II.3, los autores recomiendan su aplicación en la determinación del uso simultáneo máximo probable de aparatos con *depósito-tazón* (se supone que el término implica aparatos con depósito, tales como excusados, bidés, etc).

TABLA II.3

Número total de aparatos sanitarios semejantes	1	2	3	4	5	7	10	15	20	30	40	50	75	100
Número probable de ellos en uso simultáneo	1	2	2	2	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16

TABLA II.4

Gasto potencial		FACTOR DE FLUJO SIMULTANEO	
gpm	lpm <sup>1</sup>	Grupo A	Grupo B
50	189.25	0.50	0.80
70	264.95	0.40	0.70
100	378.50	0.35	0.60
150	567.75	0.30	0.50
200	757.00	0.25	0.40
300	1,135.50	0.21	0.30
500	1,892.50	0.17	0.25
800	3,028.00	0.14	0.20
1,200	4,542.00	0.12	0.17
2,000	7,570.00	0.10	0.15
3,000	11,355.00	0.09	0.13
5,000	18,925.00	0.08	0.12

<sup>1</sup> galón americano igual a 3.785 ℓ

La segunda tabla establece *Factores de flujo simultáneo*, número por el cual deberá ser multiplicado el gasto potencial máximo del sistema, dando como resultado el gasto de diseño.

Como se dijo anteriormente, éste es un método empírico más ge-

neral, debido a que clasifica a las edificaciones en dos tipos, según se puede observar en la anterior tabla II.4. Se utilizará el factor de flujo del grupo A cuando la edificación corresponda a residencias grandes o pequeñas, a edificios de departamentos y a edificios de oficinas. El factor de flujo del grupo B se utilizará en el caso de que la edificación se trate de hoteles, hospitales, escuelas, edificios para industrias, teatros, restaurantes y baños públicos.

## II.7 METODO DE KESSLER

Es un método empírico realizado por Lewis H. Kessler auspiciado por la Sociedad Americana de Ingeniería Sanitaria (A.S.S.E.). Su desarrollo lo expone en dos publicaciones: la primera (9), en la cual presenta un procedimiento que se restringe a pequeñas casas unifamiliares. En la segunda publicación (10), efectuada doce años más tarde, no solamente amplía su procedimiento, si no que presenta otros valores para diferentes tipos de edificios.

Si bien Kessler poseía amplia experiencia en este campo, los valores que presenta en su tabla no difieren en mucho con los recomendados por Dawson y Bowman expuestos en la tabla II.2. Es por esta razón que sólo se alude a él, ya que hasta en su secuela tiene muy poca diferencia.

## II.8 METODO AMERICANO. PRIMER PROCEDIMIENTO

El siguiente es un método que propone la determinación del gas to de diseño por medio de dos procedimientos alternativos. El primero de ellos es de tipo empírico y será objeto del siguiente análisis, mientras que el segundo, más científico y con base en ciertos cálculos probabilísticos será descrito posteriormente. Los dos procedimientos presentan cierta confusión en cuanto al nombre del método y al autor, es por eso que antes se harán algunos comentarios al respecto.

Estas dos propuestas para calcular el gasto de diseño vienen - desarrolladas en un libro muy conocido entre los profesores de instalaciones sanitarias de la Facultad de Ingeniería; se trata de *Instalaciones en los edificios, Fontanería y Saneamiento*, de Mariano Rodríguez-Avial, en el que tales desarrollos no mencionan citas bibliográficas, ni especifican que Rodríguez-Avial sea el autor. Existe una pequeña nota que coloca al dar tres tablas (11) para el primer procedimiento, indicando que fueron tomadas *Del Impianti Sanitari, de Gallizio, (sic).*

Si se consulta tal referencia se observa que, además de las tablas citadas, se describen ahí los mismos dos procedimientos - de que se ha hablado. Debido al hecho de que Rodríguez-Avial - se remite a esta publicación, aunque sea tan sólo por una tabla y ésta sea copiada íntegramente, se infiere que él no es el au- tor del método.

Por otro lado, si se lee el prefacio a la primera edición ita- liana (12) de la obra de *Angelo Gallizio*, ahí menciona que tuvo la agradable oportunidad de extender sus investigaciones al trasladarse a diversos países del mundo, de los cuales finalmente comprueba que los Estados Unidos de Norteamérica es la única - nación en la que la ingeniería sanitaria había llegado al gra-

do de verdadera ciencia. El no establece cuándo efectúa esos viajes, pero proporciona algunas fechas en su primer capítulo, referidas a datos sobre consumos de agua, lo que hace pensar que los viajes fueron hechos antes de escribir el libro y durante la década que antecedió al año de 1942, periodo que coincide con las fechas de las publicaciones de los investigadores norteamericanos.

Suponiendo que Gallizio es el autor de tales procedimientos, basándose en que él no lo afirma pero tampoco cita referencia alguna, en el desarrollo se percibe cierta influencia norteamericana, comprendiéndose así el porqué se ha generalizado el uso de llamarlos *métodos americanos*.

Después de un intento para aclarar estos detalles, se explica en seguida el primer procedimiento.

Para la determinación del gasto de diseño conviene recordar que una instalación hidráulica se compone de montantes o columnas, tubos matrices o distribuidores y tubos ramales.

El método dice que el desarrollo de este procedimiento se efectúa en tres pasos; primero se establecen los gastos de los grifos de cada aparato, enseguida los gastos de los tubos matrices y luego los gastos de los montantes o columnas. Los valores del gasto para cada aparato los propone Gallizio como se indica en la tabla II.5, la cual sirve de complemento en la determinación de los subsecuentes gastos.

*Gasto en los tubos matrices.* Para estos tubos se consultan dos tablas, advirtiéndose que los valores consignados en ellas se refieren sólo al agua fría; si se tratara del tubo matriz de agua caliente se descuenta el gasto del excusado, siempre y cuando sea del tipo de depósito de agua.

TABLA II.5

Gasto mínimo en los grifos de aparatos usuales

AFARATO SANITARIO	Gasto mínimo de cada grifo en l./seg.
Lavabo .....	0,10
Baño .....	0,20
Ducha .....	0,10
Bidé .....	0,10
W. C. con depósito .....	0,10
W. C. con fluxómetro .....	2,00
Fregadero de vivienda .....	0,15
» de restaurante .....	0,30
Lavaderos de ropa .....	0,20
Hidrante de riego: $\phi$ 20 mm. ....	0,60
»    » $\phi$ 30 mm. ....	1,00
» de incendio: $\phi$ 45 mm. ....	3,00
»    » $\phi$ 70 mm. ....	8,00
Urinario de lavado controlado .....	0,10
»    » continuo .....	0,05
» de descarga automática .....	0,05
(En este caso el agua está entrando también continuamente en el depósito.)	

TABLA II.6

Gasto mínimo de los matrices para cuartos de baño y cocinas de los pisos o de pequeñas casas

Aparatos servidos por la derivación	Aparatos a considerar en funcionamiento simultáneo	Gasto en l./seg
Un cuarto de baño.	Pila del baño y lavabo.	0,30
Un cuarto de baño, una cocina y un aseo de servicio.	Pila del baño, fregadero y W. C.	0,45
Dos cuartos de baño.	Las pilas de baños.	0,40
Dos cuartos de baño, dos cocinas y dos aseos de servicio.	Las pilas de baños, un fregadero y un W. C. de servicio.	0,65
Tres cuartos de baño.	Dos pilas de baño y dos lavabos.	0,60
Tres cuartos de baño, tres cocinas y tres aseos de servicio.	Dos pilas de baño, un lavabo, un fregadero y un W. C. de servicio.	0,75

En esta primer tabla II.6 se tomó en cuenta el hecho de que en un cuarto de baño es casi imposible que se utilicen en forma

simultánea más de dos aparatos. La segunda tabla establece qué porcentaje de los aparatos instalados en edificios públicos debe considerarse en uso simultáneo. Para los dos casos definidos por las tablas, el gasto de un tubo matriz nunca debe considerarse inferior al de uno de los grifos del aparato de mayor consumo.

TABLA II.7

Porcentaje de flujo para diversos aparatos de uso público.

Número de aparatos . . . . .	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30	35	40
Clase de aparato . . . . .	Tanto por 100 de la suma de gastos de los aparatos												
Lavabos . . . . .	100	100	75	60	50	50	50	50	50	50	50	20	50
W. C. con depósito . . . . .	100	67	50	40	37	37	30	30	30	30	30	30	30
W. C. con fluxómetro . . . . .	50	33	30	25	25	25	20	20	20	16	15	15	15
Urinarios . . . . .	100	67	50	40	37	37	30	27	25	24	23	20	20
Duchas . . . . .	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

TABLA II.8

Porcentaje de gasto simultáneo para tramos de columna

Número de grupos de aparatos servidos por el tramo . . . . .	1	2	3	4	5	6	8	10	20
Tanto por ciento de simultaneidad:									
a) W. C. con depósito . . . . .	100	90	85	80	75	70	64	55	50
b) W. C. con fluxómetro . . . . .	100	80	65	55	50	44	35	27	20
Número de grupos de aparatos servidos por el tramo . . . . .	10	40	50	75	100	150	200	500	1,000
Tanto por ciento de simultaneidad:									
a) W. C. con depósito . . . . .	43	38	35	33	32	31	30	27	25
b) W. C. con fluxómetro . . . . .	14	10	9	8	7	5	4	3	2

*Gasto en los montantes.* Una vez establecido el gasto en los tubos matrices, esto es, de cada grupo tipo de aparatos, el gasto de los montantes se calcula de un modo aproximado, estableciendo que los montantes tienen un gasto igual a la suma de los gastos

de los tubos matrices, multiplicado por un porcentaje fijado en la tabla II.8 y que está en relación con el número de grupos servidos. En la suma de los gastos es obvio que debe considerarse tanto el gasto del tubo matriz de agua fría como el de agua caliente.

## II.9 METODO ALEMAN DE LA RAIZ CUADRADA

Este método consiste en que se toma como unidad de gasto la descarga de un grifo de 9.5 mm (3/8 de pulgada), funcionando bajo ciertas condiciones; asignándosele un *factor de gasto* unitario a este porcentaje de flujo. Para cualquier otro aparato con diferente porcentaje de flujo se establece un factor de gasto de acuerdo a una relación de flujo de estos otros aparatos, con respecto al grifo de 9.5 mm; el factor se obtiene elevando al cuadrado el resultado de dicha relación. Después de obtenido el factor de gasto de los grifos de cada aparato se multiplica por la cantidad de aparatos de cada tipo, se suman los productos y se le saca raíz cuadrada. El resultado se multiplica por la unidad de gasto tomada y de esta forma se llega a la obtención del gasto de diseño.

Para un tubo matriz o distribuidor del sistema de un edificio, se tomarán en cuenta sólo los aparatos servidos por ese tubo matriz. En seguida se describen los detalles algebraicos del método (13), paso por paso.

En primer lugar se supone la unidad de gasto y se toma como el *flujo normal* de un grifo de 9.5 mm; se adopta como dicha unidad de gasto 0.25 litros por segundo, el cual equivale en forma aproximada a 4 galones por minuto, valor que se identificará

como  $q_1$ ; el factor de gasto  $f_1$  que le corresponde a este grifo es, como ya se mencionó, unitario. En segundo lugar, se determina la cantidad  $n_1$  de grifos de este mismo tamaño abastecidos por un cierto tubo matriz.

Además, si se supone que hay  $n_2$  grifos de 19 mm (3/4 de pulgada) servidos por tal tubo matriz, y que cada uno de esos grifos requiere de 0.75 l/s (12 gal/min) cuando está en operación, la relación con respecto al gasto unitario del grifo de 9.5 mm es 0.75/0.25, igual a 3; por lo que el factor de carga  $f_2$  es  $3^2=9$ . Por lo tanto el gasto de diseño  $Q_d$  para los dos grupos de grifos está dado por:

$$Q_d = q_1 \sqrt{f_1 n_1 + f_2 n_2} \quad \text{l/s} \quad \text{II.1}$$

Si en la expresión anterior se insertan los valores obtenidos, se tiene:

$$Q_d = 0.25 \sqrt{n_1 + 9n_2} \quad \text{l/s} \quad \text{II.2}$$

Donde las unidades de  $Q_d$  dependen de las que tome  $q_1$ , esto es, si se sabe que 0.25 l/s equivale a 4 gal/min, entonces:

$$Q_d = 4 \sqrt{n_1 + 9n_2} \quad \text{gal/min} \quad \text{II.3}$$

Generalizando, para cualquier número de aparatos de diferentes tipos abastecidos por un tubo matriz, o llegado el caso por un tubo montante del que dependa uno o varios tubos matrices de un sistema, tendremos la fórmula para el gasto de diseño:

$$Q_d = q_1 \sqrt{f_1 n_1 + f_2 n_2 + \dots + f_i n_i} \quad \text{l/s} \quad \text{II.4}$$

El cálculo del gasto de diseño que propone este método pasa por alto la frecuencia de uso de cada tipo de aparato; también ignora el intervalo de tiempo requerido para el uso de un aparato, aunque al obtenerse la raíz cuadrada se tiene, de manera arbitraria, un porcentaje promedio de la demanda de cada tipo

de aparato, considerando que no siempre son utilizados en forma simultánea todos los aparatos.

Otro dato que se desprecia es el de la diferencia existente entre el servicio público y el privado; aún así, presenta la virtud de que es de fácil comprensión, desde el punto de vista de que los complicados conceptos que involucra la aplicación de la teoría de probabilidades se reemplazan por la suposición arbitraria de que tales conceptos se toman en cuenta en una simple relación de raíz cuadrada.

En ocasiones se instalan equipos adicionales que requieren de un gasto continuo de agua, como los de aire acondicionado. Esto mismo sucede con los grifos que se colocan a la entrada de los edificios, así como en algunas instalaciones especiales, tales como baterías de lavabos o de regaderas que se encuentran expuestas a un uso simultáneo total. En todos estos casos, o en cualquier otro que surja, se tienen los gastos impuestos por  $n_i$  salidas, cada una de las cuales requiere un flujo continuo  $q_i$ . En general, si existieran grifos de distinto flujo  $q_i$  y hubiese  $n_i$  aparatos correspondientes, se llega a la siguiente ecuación:

$$Q_d = \sqrt{\sum f_i n_i} + \sum n_i q_i \quad \text{II.5}$$

Que es la ecuación general para obtener el gasto total con el cual se hará el diseño del sistema.

## II.10 METODO PROPUESTO POR LA SOCIEDAD IMPULSORA DEL COBRE

En este método el objetivo no es la determinación de un gasto

de diseño, si no directamente la obtención de diámetros de tuberías, mediante el uso de gráficas y tablas. En el manual de plomería publicado por la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (14) se menciona que el método de diseño, el gráfico, el arreglo diagramático y las tablas están debidamente sancionados por la Sociedad Impulsora del Cobre, implicando con esto que se reserva el derecho de la publicación, tanto del método para la obtención de un gasto de diseño como de las fórmulas para el cálculo de las pérdidas por fricción.

Debido a que la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria se liquidó hace tiempo, fue imposible dilucidar el criterio que sirvió de base en la obtención de todo este material. El ingeniero Fidel Cortés, funcionario que aún trabaja en la misma Secretaría y que estuvo cerca de los que elaboraron el manual de plomería, menciona que fue una adaptación del método probabilístico de Hunter y de la fórmula de Hazen-Williams. Por estos motivos, sin asegurar nada, se supondrá que es un método probabilístico.

En el desarrollo de ese método se utiliza el término *columna* para designar a todos los tubos verticales, sean éstos montantes, matrices o ramales. También se especifica que las *pérdidas de columna* están representadas por la columna de agua, expresada en metros, que se pierde por cada cien metros lineales de tubería recta, incluyendo la resistencia que ofrecen las conexiones y las piezas especiales convertidas a longitudes equivalentes de acuerdo con los valores consignados en las tablas II.9, II.10 y II.11.

Conociendo la catidad de pérdida de columna dada por la expresión:

$$\frac{\text{columna disponible}}{\text{largo total}} \times 100 ,$$

en donde la columna disponible se mide desde un nivel arbitrario, y mediante el uso del gráfico de la figura II.3, es posible el dimensionamiento de la tubería de tal forma que transporte el gasto requerido.

TABLA II.9  
GASTO EN MUEBLES

mueble	l / min
excusado con tanque . . . . .	9.1 a 18.2
excusado con fluxómetro . . . . .	120.0
tina . . . . .	27.2 a 45.5
regadera . . . . .	22.7 a 36.4
lavabo . . . . .	13.6 a 22.7
bidé . . . . .	12.0 a 15.0
fregadero . . . . .	13.6 a 22.7
lavadero . . . . .	13.6 a 22.7
llave de jardín . . . . .	18.9 a 37.9
bebedero . . . . .	9.0 a 12.0
mingitorio con fluxómetro . . . . .	90.0 a 100

TABLA II.10  
RESISTENCIA FRICCIONAL EN CONEXIONES

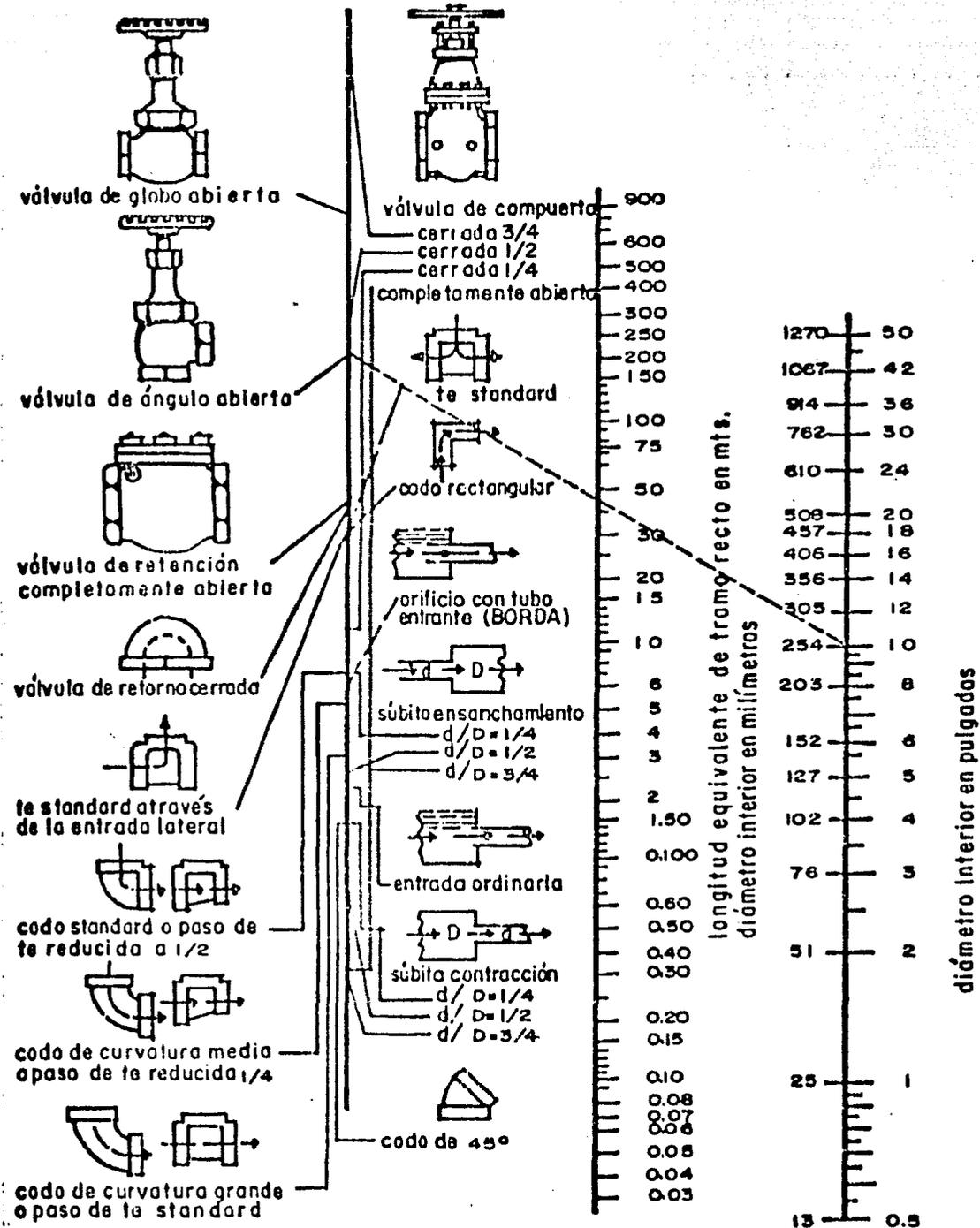
DE COBRE						DE BRONCE				
medi- da nomi- nal	codo de 90°	codo de 45°	tee corri- da	tee salida late- ral	codo de 90°	codo de 45°	tee corri- da	tee salida late- ral	vál- vula de globo	vál- vula com- puerta
mm	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
10	0.15	0.15	0.15	0.30	0.30	0.15	0.15	0.61	0.53	0.09
13	0.15	0.15	0.15	0.30	0.30	0.15	0.15	0.61	0.53	0.10
19	0.30	0.15	0.15	0.61	0.61	0.30	0.15	0.91	0.84	0.20
25	0.30	0.30	0.15	0.91	1.22	0.61	0.15	1.52	0.23	0.30
32	0.61	0.30	0.15	1.22	1.52	0.61	0.30	2.13	16.15	0.30
38	0.61	0.61	0.30	1.52	2.44	0.91	0.30	2.74	20.12	0.61
50	0.61	0.61	0.30	2.13	3.35	1.52	0.61	3.66	27.43	0.61
64	0.61	0.91	0.61	2.74	4.27	2.44	0.61	4.88		0.61
76	0.91	1.22			5.49	3.35	0.61	6.10		0.61

DIAMETRO DEL TUBO		CODO STANDARD	CODO DE RADIO MEDIO	CODO DE RADIO GRANDE	CODO DE 45	TEE	CURVA DE RETORNO	VALVULA DE COMPUERTA ABIERTA	VALVULA DE GLOBO ABIERTA	VALVULA DE ANGULO ABIERTA
										
m.m.	pulg.	LONGITUD DE TRAMO RECTO EQUIVALENTE A LA RESISTENCIA AL ESCURRIMIENTO								
13	1/2	0.457	0.427	0.335	0.235	1.036	1.158	0.106	4.877	2.560
19	3/4	0.671	0.548	0.427	0.305	1.372	1.524	0.143	6.705	3.658
25	1	0.823	0.701	0.518	0.396	1.768	1.859	0.183	8.230	4.572
32	1 1/4	1.128	0.914	0.732	0.488	2.377	2.591	0.244	11.278	5.486
38	1 1/2	1.311	1.097	0.853	0.610	2.743	3.048	0.290	13.411	6.706
51	2	1.676	1.402	1.067	0.762	3.353	3.962	0.366	17.374	8.534
64	2 1/2	1.981	1.646	1.280	0.914	4.267	4.572	0.427	20.117	10.058
76	3	2.469	2.073	1.554	1.158	5.182	5.486	0.518	25.908	12.802
89	3 1/2	2.896	2.438	1.829	1.341	5.791	6.401	0.610	30.175	15.240
102	4	3.353	2.774	2.134	1.524	6.706	7.315	0.701	33.528	17.678
114	4 1/2	3.658	3.048	2.408	1.707	7.315	8.230	0.792	39.624	18.593
127	5	4.267	3.658	2.713	1.859	8.230	9.449	0.884	42.672	21.336
152	6	4.877	4.267	3.353	2.347	10.058	11.278	1.067	48.768	25.298
203	8	6.401	5.486	4.267	3.048	13.106	14.935	1.372	67.056	33.528
254	10	7.925	6.706	5.182	3.962	17.069	18.593	1.737	88.392	42.672
305	12	9.754	7.925	6.096	4.572	20.117	22.250	2.042	103.632	51.816
356	14	10.973	9.449	7.010	5.182	23.165	25.906	2.438	118.872	57.912
406	16	12.802	10.668	8.230	5.791	26.518	30.480	2.743	131.064	67.056
457	18	14.021	12.192	9.144	6.401	30.480	33.528	3.109	152.400	76.200
508	20	15.850	13.106	10.363	7.010	33.528	36.576	3.658	170.688	85.344
559	22	17.678	15.240	11.278	7.620	39.624	42.672	3.962	185.928	94.488
610	24	19.202	16.154	12.192	8.534	42.672	45.720	4.267	207.264	103.632
762	30	24.079	20.726	15.240	10.668	50.292	57.912	5.182	262.128	128.016
914	36	28.651	24.079	18.288	13.106	60.960	67.056	6.096	304.800	152.400
1067	42	36.576	28.956	21.946	15.240	73.152	79.248	7.010	365.760	182.880
1219	48	41.148	33.528	24.994	17.678	83.820	91.440	7.925	426.720	207.264

RESISTENCIA EN VALVULAS Y CONEXIONES

TABLA II.11

FIGURA II.2  
PERDIDA DE CARGA EN CONEXIONES



EJEMPLO: La línea de puntos muestra que la resistencia en un codo standard de 6" equivale a la de un tramo recto de tubería standard del mismo diámetro. Para contracciones y ensanchamientos bruscos utilícese el diámetro menor  $d$  en la escala de tubos. Para encontrar la pérdida de carga en accesorios expresada en metros de tubería del mismo diámetro únase el correspondiente a la pieza de que se trate al diámetro en la tercera escala. La intersección con la escala central determina el equivalente en metros.

DIÁMETROS

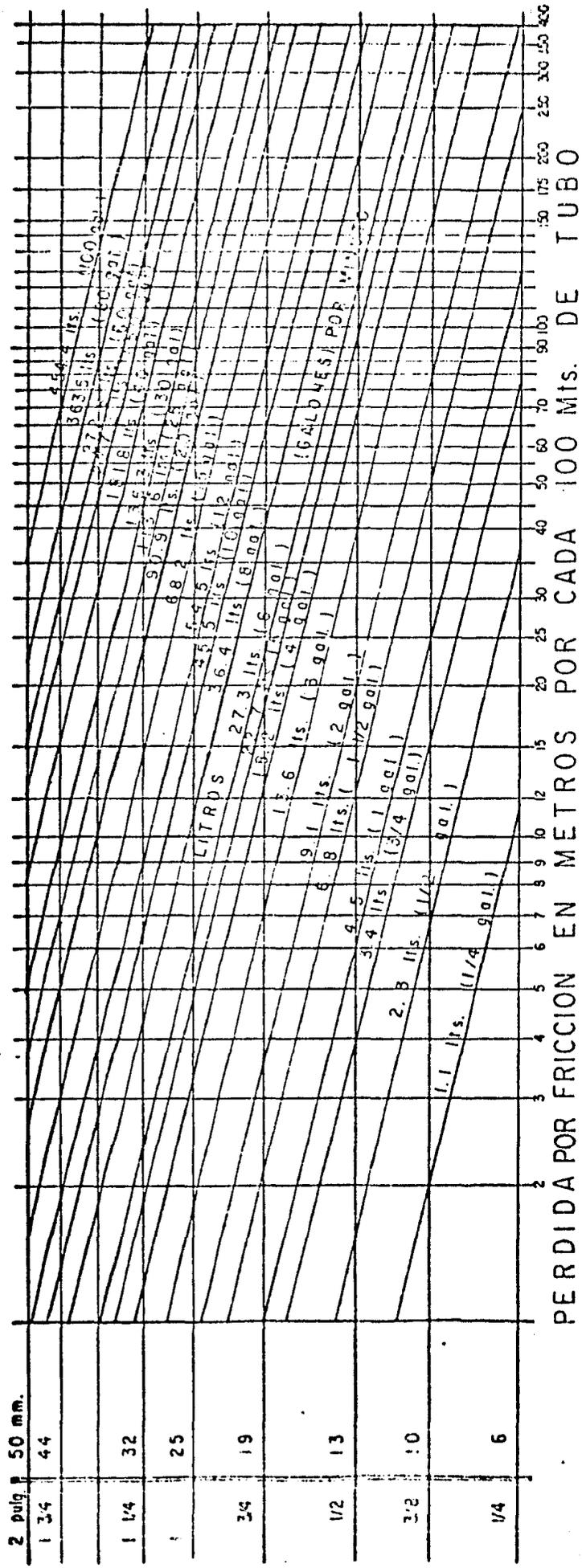


FIGURA II.3 Gráfica que muestra las descargas en tubos de diferentes diámetros marcada en varios grados de fricción expresada en términos de decrecimiento de columna en metros por cada 100 m de tubería recta.

La equivalencia es en galones imperiales igual a 4.544 l

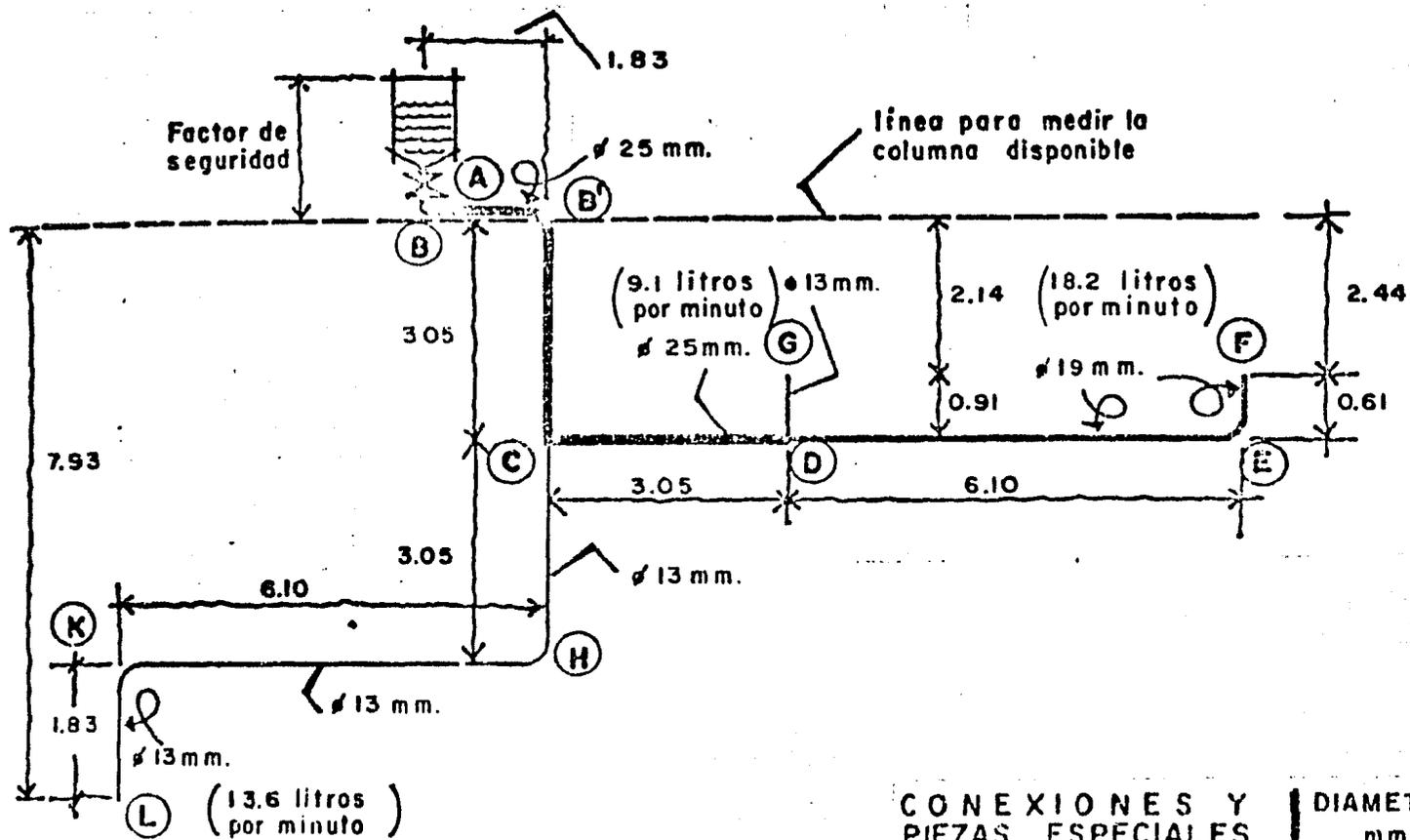


FIGURA II.4  
ARREGIO DIAGRAMATICO

TRAMO	LONGITUD DE TUBERIA mts.	RESISTENCIA EN CONEXIONES mts.	TOTAL mts.
A F	14.64	5.79	20.43
A D	7.93	4.34	12.27
D G	0.91	1.14	2.05
A C	4.88	2.82	7.70
C L	10.98	1.30	12.28

CONEXIONES Y PIEZAS ESPECIALES	DIAMETROS mm.	RESISTENCIA FRICCIONAL EN MTS.
Valvula A	25	0.23
Llave F	19	0.84
Llaves G Y L	10 y 13	0.53
Codos B Y B'	25	1.22
Codos H Y K	13	0.51
Codo E	19	0.61
TE "C" para "CF"	25	1.52
TE "C" para "CL"	13	0.15
TE en "D" para "D.F."	19	0.15
TE en "D" para "D.G."	13	0.51

El manual de plomería recomienda también que para la determinación de los diámetros deben observarse las siguientes reglas:

1. Determinécese el tramo en el cual la cantidad de columna es menor, (tramo AF en figura II.4).
2. Cerciorarse de que esta cantidad no está excedida en nin-guna parte del tramo.
3. Cerciorarse de que la cantidad de columna no decrezca hacia otra salida en ningún tramo.

## II.11 METODO AMERICANO. SEGUNDO PROCEDIMIENTO

Después de atribuirle la paternidad de los dos procedimientos del Método Americano a *Angelo Gallizio*, aunque con ciertas reser-vas, se aborda a continuación el segundo de ellos, mucho más -científico que el primero, pues se basa en fórmulas matemáti--cas para establecer el porcentaje de la suma de los gastos de cada uno de los aparatos que debe tomarse en cuenta para el diseño de una tubería de distribución de agua, considerando el -número máximo de aparatos en servicio simultáneo, en un deter-minado periodo de tiempo.

Gallizio menciona en su *Instalaciones Sanitarias* (15) que existe una *expresión matemática que establece, sobre un grupo de acciones iguales e igualmente subsecuentes, cuál es el intervalo proba-ble de tiempo que transcurre entre dos sobreposiciones sucesi-vas de un determinado número de acciones tomadas de entre las del grupo.*

La expresión a que hace referencia es la siguiente:

$$P = \frac{A^{r-1}}{B \times C_r^n}$$

II.6

En donde:

**P** es el periodo de tiempo probable, en días, durante el cual se presenta la ocasión de que  $r$  aparatos, tomados de  $n$ , entren en uso simultáneo.

**A** es igual a  $i/t$  y representa la probabilidad de que un aparato se encuentre en servicio durante el periodo de máximo uso.

**i** es el intervalo medio de tiempo que transcurre entre un servicio y el siguiente, durante el periodo de máximo uso, en minutos.

**t** es el tiempo promedio que tarda un aparato en desalojar el agua, en minutos.

**B** es igual a  $h/i$  y representa la probabilidad de que varios aparatos se encuentren en uso simultáneo.

**h** es la duración media diaria del periodo de máximo uso, en minutos.

**$C_r^n$**  es el número de combinaciones posibles de  $r$  aparatos, tomados de  $n$  que pueden estar en uso simultáneo, o sea:

$$C_r^n = \frac{n(n-1)(n-2)\cdots(n-r+1)}{1 \times 2 \times 3 \times \cdots \times r}$$

**n** es el número total de aparatos que forman parte del sistema de plomería de un edificio.

A partir de la experimentación se pueden asignar ciertos valores a las variables de la expresión II.6, que dependen del tipo de aparato y del tipo de edificio; por ejemplo, a la variable  $P$  es usual asignarle periodos de un día, pues puede que ocurra que, durante tal periodo, una cierta cantidad  $r$  de los  $n$  aparatos entren en funcionamiento simultáneo. Es comprensible que si a  $P$  se le asignan valores de 7 días o de 365 días, la fórmula expresará un número  $r$  más grande, tomado de  $n$  aparatos,

que pueden encontrarse en uso simultáneo; es decir, es muy probable que se presente el caso de que tal número más grande de aparatos se encuentre operando simultáneamente *una vez a la semana o una vez al año*.

Por otra parte, si se asigna el valor de 1 día a  $p$ , no implica que el número  $r$  de aparatos, tomados de  $n$ , funcionará simultáneamente *cada día*, si no que es probable que en determinado instante ocurra tal hecho *una vez al día*, como máximo. En la práctica se han obtenido diámetros adecuados al diseñar con este valor, lo que significa que al presentarse el caso de un  $r$  mayor, el efecto en los grifos de los aparatos se manifiesta en una reducción momentánea del gasto, pero dado que es menos frecuente dicho caso, y además es instantáneo, no perjudica el buen funcionamiento de la instalación.

Considerando lo anterior en la expresión II.6 se tendrá:

$$1 = \frac{A^{r-1}}{B \times C_r^n}$$

$$C_r^n = \frac{A^{r-1}}{B}$$

II.7

Al aplicar las propiedades de los logaritmos en la expresión II.7 resulta:

$$\log C_r^n = \log A^{r-1} - \log B$$

II.8

Ahora, asignando valores a las variables  $i$ ,  $t$ ,  $h$ , y en consecuencia a  $A$  y  $B$ , y previo el conocimiento del número total  $n$  de aparatos sanitarios, en las fórmulas II.7 ó II.8 se desconocería sólo el valor de  $r$ ; pero recordando que  $r$  es el número de aparatos tomados del total  $n$ , se concluye que los valores

de  $r$  se encuentran limitados por el intervalo semiabierto por la izquierda  $0 < r \leq n$ , de tal forma que si se establecen valores para  $r$  dentro del intervalo, se puede conocer un porcentaje  $r/n$  de aparatos que debe considerarse en servicio simultáneo sobre el total  $n$  de aparatos.

Llevando los resultados de este cálculo sobre un sistema de ejes ortogonales, semilogarítmico con respecto al de las abscisas, sobre éste se colocará el número de aparatos  $n$  y en el de las ordenadas el porcentaje de aparatos  $r/n$  que se considera en uso simultáneo; así, se obtienen las *curvas características de simultaneidad* (16).

Gallizio menciona que es necesario preestablecer los valores de  $i$ ,  $t$  y  $h$  con mucho criterio, porque de ellos depende el buen éxito del cálculo. A continuación se presentan dichos valores en forma resumida, sin los comentarios que él agrega: para aparatos con fluxómetro,  $i$  de 5 a 10 min y  $t$  de 8 segundos; lavabos en oficinas,  $i$  de 22 min y  $t$  de 1 min; lavabos en viviendas,  $i$  de 20 a 30 min y  $t$  de 2 min; en tinas de baño,  $i$  de 60 min y  $t$  de 7 a 10 min y en los aparatos con depósito,  $i$  de 20 a 30 min y  $t$  de 2 min. Los valores que recomienda para  $h$  los agrupa por edificios; para oficinas 8 horas; en hospitales o clínicas de 8 a 16 horas; en edificios de departamentos, viviendas y albergues de 2 a 3 horas; y finalmente para cuarteles, colegios y escuelas de 1 hora, aunque se recomienda para estos últimos diseñar para el cien por ciento en uso simultáneo.

Para resolver en forma expedita los logaritmos de la fórmula II.8, de la manera como Gallizio la efectuó, puede recurrirse a las tres tablas (17) que, por comodidad se colocan en el apéndice A. Estas tablas las aprovecha Rodríguez-Avial en la elaboración de las seis curvas características de simultaneidad, adoptándolas como propias al asignarle otros valores a dichas

variables (18), mismas que se consignan también en el apéndice A.

Después de establecer las variantes de la fórmula, el siguiente paso es el análisis por tramos de tubería, o por grupos de aparatos. Para sistematizar este análisis se forma una tabla en la primera de cuyas columnas se anota el número de tramo, en la segunda el número de aparatos servidos por ese tramo, en la tercera el gasto total de esos aparatos, en la cuarta el porcentaje de simultaneidad y por último, en la quinta, el gasto reducido que resulta de la multiplicación de las dos anteriores columnas. Nótese que el gasto reducido es un gasto para el diseño de determinado tramo, pues el verdadero gasto de diseño está dado por la sumatoria de la quinta columna.

Posiblemente estimulado por las ventajas que ofrecía la aplicación de la teoría de probabilidades al diseño de las instalaciones de plomería y quizá por la escasa literatura existente en Italia por aquellas fechas, *Mario Marchetti* (19), investigador del Instituto de Hidráulica y Obras Hidráulicas del Politécnico de Milán, realizó un estudio sobre las instalaciones domésticas, en el que propone un método que difiere en mínimos detalles con el de Gallizio, razón por la cual no se desarrollará en este trabajo.

## II.12 METODOS FRANCESES

Influenciado también por la aplicación de la teoría probabilística el francés R. Bolant (20) presenta, un año después que Marchetti, una investigación sobre gastos permisibles en los sistemas de conducción de agua de los edificios. Para el cálculo del gasto de diseño propone un método que se revisa, se comple

menta con otros estudios y, posteriormente, lo reglamenta la *Association Francaise de Normalisation* (21).

El desarrollo que se presenta a continuación hace referencia, por lo tanto, a los reglamentos establecidos en Francia a través de dicha Asociación, por lo cual ya no se mencionará a ningún otro autor.

*Gasto en los aparatos.* Los gastos que se toman en cuenta para el cálculo de una instalación se encuentran definidos por la norma francesa P41-204 (21). Estos gastos, consignados en el cuadro que sigue, son aplicables únicamente cuando se trata de instalaciones urbanas.

TABLA II.12  
CONSUMO POR GRIFO DE ALGUNOS APARATOS CORRIENTES

DESIGNACIÓN DE LOS APARATOS	GASTOS l/s	DESIGNACIÓN DE LOS APARATOS	GASTOS l/s
Fregadero, pileta de enjuagado . . . . .	0,2	Inodoro:	
Lavabo:		a) Con cisterna de descarga . . . . .	0,1
a) Individual . . . . .	0,1	b) Con grifo de descarga . . . . .	1,5
b) Colectivo (por caño) . . . . .	0,05	Urinarios:	
Bidé . . . . .	0,1	a) Con cisterna de descarga automática, por plaza . . . . .	0,005
Bañera, alimentada por:		b) Con grifo individual . . . . .	0,1
a) Termoacumulador, o red de agua caliente . . . . .	0,35	c) Compartimento con grifo de descarga . . . . .	0,5
b) Calentadores instantáneos . . . . .	0,25	Pila de lavar . . . . .	0,4
Ducha (agua fría o mezclada) . . . . .	0,25	Grifo para limpieza de patio o boca de riego de 20 mm. . . . .	0,7
Fuente . . . . .	0,15		

*Coefficiente de simultaneidad.* El consumo total diario de agua de un aparato varía según las actividades del usuario. Para el diseño de los diámetros es necesario conocer previamente el por-

centaje máximo promedio  $Q_m$  de tal consumo, que eventualmente coincide con la apertura simultánea de todos los grifos. El procedimiento que establecen las normas francesas, para la evaluación de  $Q_m$ , consiste en sumar los gastos de todos los grifos, suma que se afecta de un coeficiente  $k$ , menor o igual a la unidad, denominado *coeficiente de simultaneidad*.

$$Q_m = k \Sigma q \quad \text{II.9}$$

El valor de  $k$  se determina con la expresión:

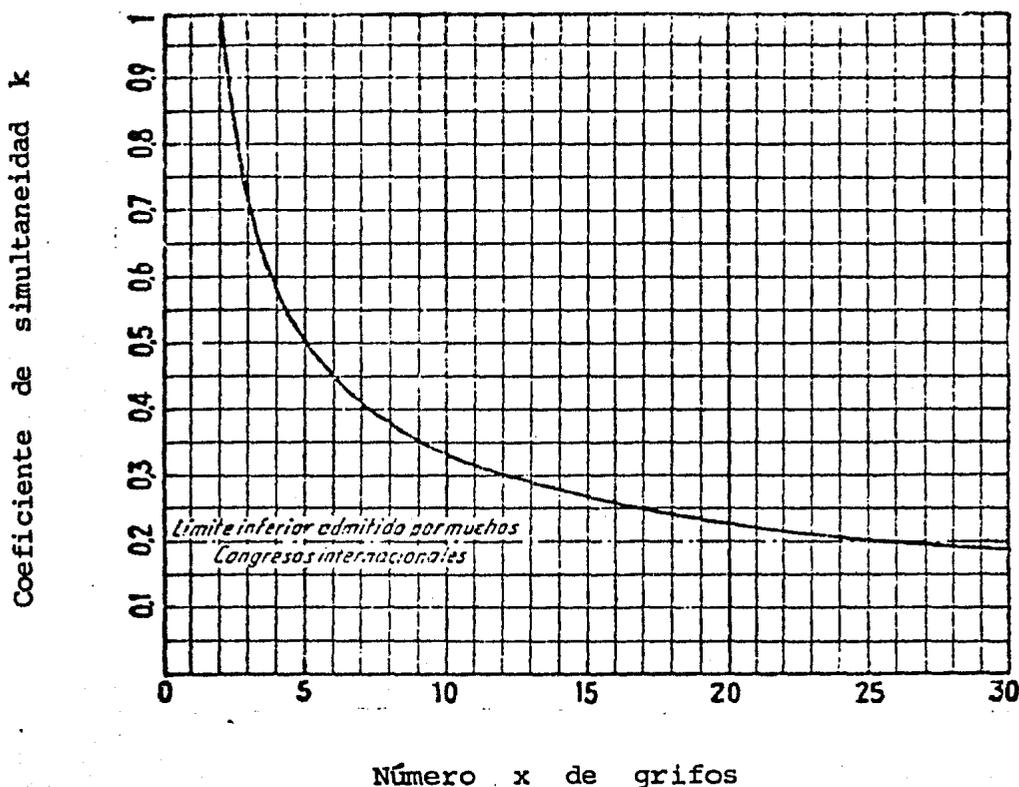
$$k = \frac{1}{\sqrt{x-1}} \quad , \quad \text{II.10}$$

en donde  $x$  representa el número de grifos instalados. Esta expresión es válida para valores de  $x$  mayores o iguales que 2, dado que si  $x = 2$ , entonces  $k = 1$ , resultado que está de acuerdo con la práctica, debido a que si una instalación comprende solamente dos grifos, el agua fluirá frecuentemente por ambos a la vez.

No existe límite superior para  $x$ , mientras que el valor de  $k$ , no debe, en ningún caso, estar por abajo de 0.20. Este límite fue establecido por los congresos internacionales de fontanería, celebrados antes de la redacción de las normas. A los franceses les pareció prudente conservar este límite, adoptándose para toda  $x > 26$ , tal como se observa en el gráfico de la fig II.5.

*Consideraciones bajo las cuales se modifica el valor de  $k$ .* Los investigadores franceses han visto que la influencia sobre el gasto es mayor cuando se opera un grifo grande que otro pequeño; para considerar este efecto convinieron en dar un ligero aumento al valor de  $k$ , incremento que se obtiene cambiando  $x$  por un valor más reducido, tal como se detalla en seguida. En primera

FIGURA II.5 Curva de valores del coeficiente de simultaneidad  $k$  para  $x$  comprendido entre 2 y 30, según la fórmula II.10 anterior



instancia se convierte el gasto  $q$  de cada uno de los diversos grifos de los aparatos a *unidades de gasto*, por medio del factor  $1/10q$ , a continuación se suman tales unidades de gasto y el resultado será el nuevo valor de  $x$ . La tabla que sigue ilustra esta consideración para un sistema de diez grifos.

TABLA II.13

Aparato	$q$ l/s	$1/10q$	$ni^1$	$q$ l/s	$ni/10q$
1 fregadero c/agua fría y caliente	0.20	0.50	2	0.40	1.00
2 lavabos c/agua fría y caliente	0.10	1.00	4	0.40	4.00
1 tina de baño c/agua fría y caliente	0.35	0.286	2	0.70	0.57
1 excusado con depósito de agua	0.10	1.00	1	0.10	1.00
1 grifo de jardín con boca de 20 mm	0.70	0.14	1	0.70	0.14
( <sup>1</sup> )ni = num de grifos por cada aparato			10	2.30	6.71

De esta forma se obtienen dos valores para  $x$ ; uno que representa la cantidad de grifos del sistema,  $x_1 = 10$  y otro a partir del total de unidades de gasto,  $x_2 = 6.71$ . El coeficiente de simultaneidad tendrá entonces los valores:

$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{10-1}} = 0.34$$

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{6.71-1}} = 0.42$$

y su aplicación en la fórmula II.9 arroja los siguientes gastos

$$Q_{m_1} = 0.34 \times 2.30 = 0.78 \quad 1/s$$

$$Q_{m_2} = 0.42 \times 2.30 = 0.97 \quad 1/s$$

Estos porcentajes máximos promedio difieren poco entre sí, por lo que las normas recomiendan, en la generalidad de los casos, tomar el valor de  $x$  como el número total de grifos del sistema. Se ha empleado el término porcentaje máximo promedio  $Q_m$  debido a que así se le nombra en las normas francesas. Pero  $Q_m$  no es más que el gasto de diseño obtenido mediante los métodos descritos con anterioridad. Para evitar confusiones se usará este último en todos los subsecuentes casos que se aluda a él.

Existen algunos sistemas en los que para la determinación del gasto de diseño no puede aplicarse el coeficiente de simultaneidad y son aquéllos en los cuales la actividad de sus ocupantes está estrictamente regulada, de modo que todos tienen en un instante dado el mismo tipo de ocupación. Tal es el caso de los internados escolares, de los cuarteles, de los lavabos-ducha en las fabricas y de los baños públicos. Aún así, la ocupación simultánea de todos los aparatos en las horas pico no siempre

resulta cierta y, por lo regular, hay un aumento inútil en el costo de la instalación.

La misma norma P 41-204 establece que en estos casos, para el cálculo del coeficiente de simultaneidad no se contabilizarán los grifos que abastecen los aparatos, ya que serán alimentados por un tubo matriz especial que se diseñará admitiendo el funcionamiento simultáneo de:

- |  |            |
|--|------------|
| 1 grifo de descarga cuando la instalación comprenda  | hasta 3    |
| 2 grifos de descarga cuando la instalación comprenda | de 4 a 12  |
| 3 grifos de descarga cuando la instalación comprenda | de 13 a 24 |
| 4 grifos de descarga cuando la instalación comprenda | más de 24  |

Después de obtener el gasto de diseño, las normas diversifican el método siguiendo dos caminos para llegar a la determinación de los diámetros. Uno considerando las velocidades máximas admisibles, sin preocuparse por las pérdidas de carga, basándose en la aplicación de una fórmula empírica, en la cual debe cumplirse que la presión mínima  $P$  en la red general verifique la desigualdad:

$$P \geq 1.7 h + A \quad (P \text{ en metros}) \quad \text{II.11}$$

siempre que se tenga:

$$l_1 \leq 5 h$$

$$l_2 \leq h$$

II.12

y sabiendo que:

$h$  es la altura en metros, desde el nivel de la vía pública - hasta el del último piso alimentado.

$A$  es la altura de agua, variable según el equipo del último piso:

A = 10 m, con sólo grifos de toma.

A = 12 m, con termoacumuladores para baño.

A = 14 m, con calentadores instantáneos de gas y excusados con fluxómetro.

$l_1$  es la distancia, medida en metros según la proyección horizontal, entre el aparato del piso bajo más alejado de la red general y esta red.

$l_2$  es la misma distancia anterior, pero referida al aparato más alejado situado en los pisos superiores.

El otro camino, usado con más frecuencia, está basado en el cálculo de las pérdidas de carga, sea cual fuere la presión en la red general. Dichas pérdidas deben reducirse por debajo de 0.25 m por cada metro, valor en el cual se basa la desigualdad II.11, de modo que si  $p$  no satisfase tal desigualdad es porque las pérdidas de carga unitaria son mayores que el valor señalado y, en consecuencia, se adoptarán diámetros superiores a los máximos admisibles para las velocidades de circulación. Aún así, como también deben tomarse en consideración los aspectos económicos y estéticos, los diámetros se limitarán a lo estrictamente necesario. Por esta razón, una vez deducidas las pérdidas de carga que en la presión  $p$  de la red general se producen en toda su longitud, dichos diámetros se diseñarán de forma tal que exista una presión residual  $p_r$  que presente un valor positivo para que el aparato más alto posea un gasto suficiente.

## II.13 METODO DE WISE Y CROFT

Los británicos no quisieron quedarse a la zaga, por lo que sus instaladores se vieron precisados a cambiar sus viejos y caducos procedimientos empíricos, presionados por las nuevas aplicaciones de la teoría de probabilidades.

A. F. E. Wise y J. Croft, investigadores de la *Building Research Station* de Inglaterra (22), presentaron recientemente un método probabilístico para la determinación de gastos de diseño para instalaciones hidráulicas y sanitarias de casas unifamiliares y edificios de departamentos.

Su desarrollo se basa en datos de las frecuencias de uso de excusados, lavabos, regaderas y fregaderos de cocina, obtenidos bajo las condiciones de uso normal por una familia. Se llevó a cabo un muestreo en 108 familias que vivían en casas unifamiliares y edificios de departamentos, cuyos datos se registraron entre las 5:30 y las 10:30 h durante todos los días laborables de una semana. Los resultados a que llegaron los investigadores se concentran en la siguiente tabla:

TABLA II.14

FRECUENCIAS DE USO DE LOS APARATOS EN LAS HORAS PICO

Aparato	Promedio en las horas pico de una semana		Promedio para cualquier hora en cualquier día	
	Num de usos	Intervalo de tiempo promedio entre usos en min	Num de usos	Intervalo de tiempo promedio entre usos en min
excusados	2.3	26	3.1	19
lavabos	1.8	33	2.4	25
fregaderos	1.6	38	2.4	25

En forma complementaria, los mismos investigadores obtuvieron información referente a un promedio de la cantidad de agua usada en la descarga de un aparato, así como a la duración de dicha descarga. Vease la tabla II.15.

Así, la probabilidad de encontrar un excusado cualquiera de 2 gal (7.5 l) desalojando el agua en un instante dado es  $5/(19 \times 60) = 0.0044$ , cuando mucho.

TABLA II.15

## PORCENTAJES DE FLUJO Y DURACION DE LA DESCARGA

Aparatos	Porcentaje de descarga en gpm	Duración de la descarga en gpm
Excusado con fluxómetro de piso:		
2 gal	30	5
3 gal	30	7
Lavabo con trampa de 1.25 pulgadas	8	10
Baño con trampa de 1.5 pulgadas	14	75
Fregadero con trampa de 1.5 pulgadas	12	25

Los investigadores exponen que una de las razones por las cuales se tiene un uso aparentemente pequeño de los lavabos, consiste en que sólo se registraron aquellas ocasiones en que, después de que se llenó y utilizó el agua, fue quitado el tapón. No descartan el hecho de que se presentaron numerosas ocasiones en que el usuario no utilizara el tapón, dejando que fluyera el agua; pero los pequeños porcentajes de flujo y los periodos cortos atribuidos a estas ocasiones no influyen en forma determinante debido a que son gastos pequeños.

TABLA II.16

## PROBABILIDAD DE DESCARGA SIMULTANEA DURANTE EL PICO MATUTINO

Aparato	Duración de la descarga t en s	Intervalo entre descarga T en s	$p=t/T$	$1-t/T$	Probabilidad <sup>1</sup> de encontrar r aparatos desalojando, de un total de 10		
					r=0	r=1	r=2
excusado:							
2 gal	5	1,140	0.0044	0.9956	0.9560	0.0425	0.00084
3 gal	7	1,140	0.0061	0.9939	0.9400	0.0576	0.00159
lavabo	10	1,500	0.0067	0.9933	0.9340	0.0630	0.00190
fregadero	25	1,500	0.0167	0.9833	0.8450	0.1430	0.01100

<sup>1</sup> Los valores de las probabilidades indicadas se obtuvieron con la expansión binomial entera.

Wise y Croft supusieron a continuación que el *gasto de diseño* será el que establezca el aparato que tenga una probabilidad - igual o mayor que 0.01 de descarga simultánea. En la tabla II.16 se observa que el aparato que cumple con la probabilidad supuesta es el *fregadero*, con  $p = 0.0167$ , dato que debe aproximarse a los expuestos en seguida:

TABLA II.17

SUMA DE LAS PROBABILIDADES<sup>1</sup> PARA EL USO SIMULTANEO DE  $r$  APARATOS TOMADOS DE UN TOTAL DE 10

$r = 0$ a 10	probabilidad = 1.00000
$r = 1$ a 10	probabilidad = 0.15340
$r = 2$ a 10	probabilidad = 0.01240
$r = 3$ a 10	probabilidad = 0.00068
$r = 4$ a 10	probabilidad = 0.00002

<sup>1</sup>Los valores de estas probabilidades se obtuvieron con la sumatoria exponencial de Poisson, por lo cual no coinciden exactamente con los valores de la tabla II.16.

La tabla II.17 muestra que 2 fregaderos es el número más grande para el cual la probabilidad de  $r$  fregaderos tomados de 10 se encontrarían en uso simultáneo en más del 0.01 (uno por ciento). Por lo tanto el *gasto de diseño*, en estos términos, es el definido por dos fregaderos. Los autores aplicaron el mismo procedimiento para otros aparatos obteniendo los valores registrados en la tabla II.18.

TABLA II.18

Número de aparatos que están en uso simultáneo de acuerdo a un pico matutino

Número de aparatos	excusados		lavabos $p = 0.0067$	fregaderos $p = 0.0167$
	2 gal $p = 0.0044$	3 gal $p = 0.0061$		
1 a 8	1	1	1	1
9 a 20	1	1	1	2

En la tabla anterior se observa, por ejemplo, que para un edificio de siete departamentos, contando cada uno con excusado, lavabo, baño y fregadero de cocina conectados al mismo tubo matriz, el gasto de diseño será establecido por la suma del gasto simultáneo de un excusado, un lavabo y un fregadero, tomando en cuenta la hora pico de la mañana. Si ahora se considera un edificio de 10 departamentos, cada uno con los aparatos mencionados y de la misma manera conectados a un tubo matriz, tendrá como gasto de diseño, en la hora pico de la mañana, la suma de los gastos de un excusado, un lavabo y dos fregaderos.

TABLA II.19

NUMERO DE APARATOS EN USO SIMULTANEO ADMITIENDO UN POSIBLE PICO VESPERTINO

Número de aparatos	excusados $p = 0.0044$ ó $0.0067$	regaderas $p = 0.042$
1 a 4	1	1
5 a 11	1	2
12 a 20	1	3

Los autores han considerado otra hora pico hipotética por la tarde, bajo el supuesto de que cada baño está desaguando una vez cada 30 min y cada excusado una vez cada 19 min. En la tabla II.19 se dan los resultados que ellos obtuvieron para esta hora pico, en la cual el gasto de diseño puede calcularse en forma similar. Este gasto resulta más pequeño que el obtenido en la hora pico de la mañana.

Finalmente, Wise y Croft consideraron la posibilidad de frecuencias de uso algo más grandes a las supuestas anteriormente (para el pico más alto de los observados), demostrando, por la teoría de la probabilidad, que el gasto de diseño no cambia aunque se aumente el valor de las frecuencias de uso hasta cerca del doble.

## II.14 METODO PROBABILISTICO DE HUNTER

En el siguiente desarrollo se analiza detalladamente la secuencia empleada por Hunter para la determinación de gastos de diseño, desde las bases que toma en cuenta, hasta la determinación de las unidades de gasto para cada mueble sanitario, pasando por las definiciones que él establece y por la aplicación de la teoría de probabilidades. El nivel de detalle seguido obedece a que este método es el más utilizado por la mayoría de los proyectistas de México y, por esta razón también se hará una breve reseña de sus artículos.

El Código Nacional de Plomería de los Estados Unidos de Norteamérica (23) menciona que la primera aplicación de la teoría de la probabilidad para la determinación de gastos de diseño en instalaciones de plomería, parece haberla efectuado el Dr. Roy B. Hunter, investigador del National Bureau of Standards. A juicio de este código, es un método bastante preciso y racional, debido a que toma en cuenta factores que afectan el gasto de diseño, omitidos por otros métodos.

La primera exposición de este método apareció en *Requerimientos mínimos para la plomería de casas unifamiliares y edificios departamentales* (24), documento publicado en 1924 por el Departamento de Comercio de los Estados Unidos de Norteamérica. En 1932, el mismo departamento volvió a publicarlo en *BH13, Requerimientos mínimos de plomería* (25). En ambas publicaciones la descripción del método es incompleta y su aplicación no tan directa como lo fue en el tratamiento expuesto por Hunter en una versión posterior, *Métodos para la estimación de gastos en instalaciones sanitarias* (26), en la cual presenta algunas tablas de *Gastos- Características de descarga* y gráficos de curvas de probabilidad

de los aparatos sanitarios usados con mayor frecuencia, lo cual favoreció la aplicación del método.

Con fecha más reciente apareció una breve y más simple presentación del método de Hunter, *Determinación de las unidades-mueble utilizadas en el diseño de instalaciones de plomería* (27), con el objeto de hacer más provechosa y sencilla la aplicación de este método; ésta es la forma en que actualmente se usa en la determinación de los gastos de diseño.

#### II.14.1 Fundamentos del método

En el desarrollo de la teoría de probabilidades para la determinación de gastos de diseño, Hunter supuso, en primer lugar, que la operación de los muebles sanitarios principales puede considerarse como una serie de eventos al azar. Existen ciertas instalaciones que no se apegan a esta hipótesis; no obstante algunos de estos casos pueden admitirse por desviación completamente al azar. Así pues, la suposición anterior constituye una base firme para aplicar la teoría probabilística a este problema.

Hunter detectó que la frecuencia máxima de uso del mueble principal se manifestó en la instalación de plomería de edificios residenciales que cuentan principalmente con excusados de fluxómetro, excusados de tanque y tinas de baño o regaderas. El valor de la frecuencia récord la obtuvo básicamente en hoteles y edificios de departamentos durante los periodos de máximo uso. Así también determinó el valor característico de un porcentaje promedio del agua usada por los diferentes aparatos y el tiempo de operación de cada uno de ellos.

Al aplicar la teoría de probabilidades en su desarrollo teórico (28) toma en cuenta grupos grandes de aparatos sanitarios,

como aquéllos instalados en edificios de departamentos, hoteles, edificios de oficinas, etc., pues si bien el gasto de diseño es un gasto cuya probabilidad de ser excedido es mínima, puede ocurrir en raras ocasiones. Si este caso se presenta, no influirá en el servicio o será imperceptible, de tal forma que sigue siendo satisfactorio. Ahora bien, si el gasto de diseño es excedido en una instalación que contenga unos cuantos aparatos sanitarios, cuando el sistema se ha diseñado de acuerdo con la teoría de la probabilidad, el gasto adicional que se excedió puede resultar inconveniente, pues podría provocar interferencias en la operación de la instalación de drenaje a causa de un sobregasto en el sistema.

Hunter establece (29) que un *servicio satisfactorio* es aquél que los aparatos del sistema proporcionan cuando únicamente es interrumpido por factores controlables, tales como la ampliación o el mantenimiento de las tuberías. Pero como estos factores se toman en cuenta al construir los sistemas, cuando ocurren resultan de duración lo suficientemente breve, de modo que no causan interrupción en el uso de los aparatos. El sistema dará también un servicio satisfactorio, cuando la tubería proporcione el gasto que requiera un número  $m$  del total  $n$  de aparatos sanitarios de un edificio, pensando en que el número  $m$  de aparatos se encuentre operando simultáneamente en más del uno por ciento de probabilidad. Hunter escogió arbitrariamente este porcentaje, al aplicar la teoría de probabilidades para el diseño de gastos en instalaciones de plomería. A partir de entonces (1940) lo han usado varias empresas constructoras del gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica con buen éxito, en el sentido de que al aplicarlo no se han observado fallas en los sistemas.

#### II.14.2 Aplicación de la teoría de probabilidades a un sistema sencillo

En seguida se desarrolla la teoría de probabilidades aplicada

a un sistema hipotético que cuente con aparatos sanitarios de un sólo tipo, por ejemplo, como el que tuviese únicamente excusados operados con fluxómetro. Un sistema como éste es al que Hunter denomina *sistema sencillo*. Posteriormente se generaliza la aplicación para un sistema de plomería que cuente con aparatos de diferentes tipos, el cual se llamará *sistema mixto*.

Considerando el caso de un sistema sencillo, se identificará a  $n$  como el número total de aparatos de un solo tipo,  $T$  será el intervalo de tiempo promedio, en segundos, que transcurre entre un uso y el siguiente y  $t$  el intervalo de tiempo promedio que requiere un aparato para desalojar el agua de deshecho. La probabilidad  $p$  de que *un aparato en particular se encuentre desalojando el agua* en cualquier instante arbitrario, es

$$p = t / T \quad \text{II.13}$$

Igualmente, la probabilidad de que ese aparato, o de que cualquier otro en particular, *no* se encuentre desalojando el agua, es

$$1 - p = 1 - t / T \quad \text{II.14}$$

Se mostrará más adelante que en excusados operados con fluxómetro, un valor apropiado para  $T$  y  $t$  es de 5 min (300 s) y 9 s, respectivamente; entonces:

$$p = 9 / 300 = 0.03, \text{ y}$$

$$1 - p = 1 - 0.03 = 0.97$$

El valor encontrado con la primera expresión muestra que existe el tres por ciento de probabilidad de que un excusado operado con fluxómetro se encuentre funcionando en un instante dado,

mientras que la probabilidad de que ocurra lo contrario se manifiesta con el segundo valor, para el mismo excusado de fluxómetro. Pero, obsérvese que se está hablando de un sólo aparato en particular, haciendo caso omiso de que los otros  $n - 1$  excusados puedan estar utilizándose o no, en el instante en el que el sistema se está observando y, por ende, nada tiene que ver con las probabilidades obtenidas con las ecuaciones II.13 y II.14.

Para saber si *dos excusados en particular se encuentran en servicio simultáneo* en el mismo instante, sin tomar en cuenta si los otros  $n - 2$  excusados puedan estar o no en servicio en tal instante, la probabilidad  $p$  se eleva a la potencia 2, según la ley de *composición de eventos*, esto es, como la probabilidad para encontrar en operación al primero de estos excusados seleccionados es  $p$ , e igualmente, la probabilidad de encontrar en operación al segundo de estos dos aparatos seleccionados es  $p$  entonces la *probabilidad de que ambos excusados en particular se encuentren desalojando el agua es  $p^2$* , lo cual numéricamente se expresa como:

$$p = (0.03)^2 = 0.0009$$

Análogamente, la probabilidad de encontrar *tres excusados en servicio simultáneo* es  $p^3 = (0.03)^3 = 0.000027$ ; y así sucesivamente, de modo que la probabilidad de encontrar todos los  $n$  excusados desalojando el agua es  $p = (0.03)^n$ .

Ahora, si se considera la probabilidad de que *dos excusados en particular, pero ninguno de los otros  $n - 2$  aparatos, se encuentren en servicio simultáneo* en cualquier instante, se hará lo siguiente:

probabilidad de encontrar el primer excusado en servicio  $p$   
 probabilidad de encontrar el segundo excusado en servicio  $p$   
 probabilidad de NO encontrar el tercer excusado en servicio  $1-p$   
 probabilidad de NO encontrar el cuarto excusado en servicio  $1-p$   
 probabilidad de NO encontrar el quinto excusado en servicio  $1-p$   
 ... ..  
 probabilidad de NO encontrar el enésimo excusado en servicio  $1-p$

Se ha observado que la probabilidad total de esta composición de eventos, en un cierto instante dado, es el producto de todas ellas entre sí; consecuentemente, para el caso de excusados con fluxómetro, que es el que se analiza, se tendrá:

$$P = (1-p)^{n-2} p^2 \quad \text{II.15}$$

Por ejemplo, para una batería de  $n = 5$  aparatos de los mencionados, al aplicar la expresión II.15 se obtiene:

$$\begin{aligned}
 P &= (1-p)^{5-2} p^2 \\
 P &= (1-0.03)^3 (0.03)^2 \\
 P &= 0.00082
 \end{aligned}$$

Ahora se analizará el caso general partiendo de que *dos cualesquiera* de los  $n$  inodoros (pero ninguno de los otros  $n-2$ ) se en cuentren operando a la vez, en un instante dado, y que se ha demostrado que su probabilidad es  $(1-p)^{n-2} p^2$ , y teniendo en cuenta que existen tantas formas de seleccionar dos inodoros tomados de los  $n$ , como combinaciones de  $n$  cosas tomadas de dos en dos. Si se generaliza aún más, habría que determinar cuántas formas pueden presentarse para seleccionar  $r$  excusados de un total de  $n$  existentes. En cualquier libro de probabilidad se consigna la fórmula que define el número total de estas com binaciones:

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r! (n-r)!} \quad , \quad \text{II.16}$$

en donde  $\binom{n}{r}$  es el símbolo que expresa las combinaciones de  $n$  cosas tomadas de  $r$  en  $r$  y  $!$  es el símbolo que define el factorial de un número; si empleamos los valores de  $n = 5$  y  $r = 2$  en la expresión II.16, se tendrá:

$$\binom{5}{2} = \binom{5}{2} = \frac{5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1}{(2 \times 1)(3 \times 2 \times 1)} = 10$$

Este número indica las posibles combinaciones de un evento, que aplicado a la probabilidad de que *dos cualesquiera de cinco, pero ninguno de los otros tres inodoros, se encuentren en servicio simultáneo - en algún instante escogido arbitrariamente, se obtiene:*

$$10(0.97)^3(0.03)^2 = 0.0082$$

Siguiendo este criterio se llega a una expresión general para la probabilidad de que una cantidad  $r$  de aparatos sanitarios seleccionados al azar, *y sólo  $r$  sacados de un total de  $n$ , se encuentren operando simultáneamente en cualquier instante escogido; esto es:*

$$P_r^n = \binom{n}{r} (1-p)^{n-r} p^r \quad \text{II.17}$$

Pero cuando se observa un sistema de plomería, es cierto que encontraremos algún número  $r$  de  $n$  aparatos en operación —donde  $r$  puede tener cualquier valor desde cero hasta  $n$ —; si se suman todas estas probabilidades representadas por la ecuación II.17, tal sumatoria será un número unitario, precisamente como lo establece la teoría de probabilidades, obteniéndose así la relación:

$$\sum_{r=0}^{r=n} p_r^n = \sum_{r=0}^{r=n} \binom{n}{r} (1-p)^{n-r} p^r = 1 \quad \text{II.18}$$

Se observa que la ecuación II.17 representa un término y la ecuación II.18 es la suma de todos esos términos, definiéndose de esta forma la *expansión binomial entera* de  $[p + (1-p)]^n$ , que es la distribución de probabilidad que Hunter emplea para el desarrollo de su método.

Ahora, sólo falta establecer cuál de todos los números  $r$  de aparatos sacados de un total  $n$  puede suponerse que están en operación simultánea. Si designamos este número con la letra  $m$ , entonces el gasto de diseño  $Q_d$  se encuentra multiplicando  $m$  por el porcentaje promedio de flujo de un aparato. En su cálculo, se utiliza aquí el criterio que considera Hunter para definir cuándo un diseño es adecuado: *Un sistema de plomería se considerará que opera en forma satisfactoria, cuando abastece proporcionalmente el gasto que demande un cierto número  $m$  de  $n$  aparatos, tomando en cuenta que la probabilidad para no encontrar a más de  $m$  aparatos no sea mayor que el uno por ciento del tiempo (30).* En este criterio se considera que cada uno de los valores que toma  $r$  dentro del intervalo semiabierto  $[0, n)$ , en la ecuación II.17, es como sigue:

$$p_0^n + p_1^n + p_2^n + \dots + p_{m-1}^n + p_m^n \geq 0.99 \quad , \quad \text{II.19}$$

en donde  $m$  es el número entero más pequeño con el cual la relación II.19 es válida, para que el sistema pueda diseñarse; pero todo este procedimiento resultaba demasiado laborioso para aquel entonces (1940), como el mismo Hunter explica. En un intento por reducir al mínimo este trabajo, la *National Bureau of Standard* publicó tablas de la distribución de probabilidad binomial para valores de  $n$  hasta de 50 (31) y en otra publicación para  $n$  hasta de 150 (32).

Utilizando las últimas para el *sistema sencillo* hipotético que se está analizando, compuesto por una batería de  $n = 100$  excusados todos del tipo de fluxómetro, con dichas tablas se obtiene la probabilidad para encontrar  $r = 0, 1, 2, \dots, 10$  aparatos de los mencionados, que podrían estar funcionando simultáneamente, como se muestra en la tabla II.19.

TABLA II.19

VALORES DE  $p_r^n$  PARA  $n = 100$  Y  $r$  EN  $[0, 10]$ 

$p_0^{100} = 0.0480$	$p_6^{100} = 0.0496$
$p_1^{100} = 0.1470$	$p_7^{100} = 0.0206$
$p_2^{100} = 0.2250$	$p_8^{100} = 0.0074$
$p_3^{100} = 0.2270$	$p_9^{100} = 0.0023$
$p_4^{100} = 0.1705$	$p_{10}^{100} = 0.00065$
$p_5^{100} = 0.1013$	

Si efectuamos la suma de estas probabilidades, comenzando con  $p_0^{100}$ , se observa que el número  $m$  más pequeño de aparatos con el cual dicha suma es mayor o igual que 0.99, es 8. Esto indica que se puede asegurar con un 99 por ciento de probabilidades - que, como máximo, ocho aparatos tomados de cien se encontrarán funcionando simultáneamente en cualquier instante arbitrario que se escoja. Por lo tanto, la tubería principal de este sistema conducirá un gasto de diseño  $Q_d$  dado por:

$$Q_d = mq$$

II.20

Para el ejemplo que se está desarrollando, dicho gasto es  $Q_d = 8q$  l/s, en donde  $q$  es el porcentaje promedio de flujo, en litros por segundo, involucrado en la operación de un aparato de las características establecidas.

### II.14.3 Aplicación del método a un sistema mixto

Para el cálculo de un *sistema mixto*, Hunter observó que son tres tipos de aparatos los que tienen una influencia determinante en la demanda del gasto; a partir de esta consideración efectúa una serie de análisis con base en registros del comportamiento de varios sistemas de plomería, sujetos a diferentes condiciones de uso. Este análisis le permitió generalizar el diseño para todo sistema que cuente con cualquier tipo de aparatos sanitarios.

Los tres aparatos tipo en los que basa su desarrollo son: los excusados que operan con fluxómetro, los excusados que operan con depósito de agua y las tinas de baño o regaderas. En su publicación original (33) comenta que en lo que se tardó más tiempo fué en el estudio de las frecuencias de uso de estos tres aparatos, cuyos valores más convenientes son los mostrados en la siguiente tabla:

TABLA II.20

VALORES DE  $t$  Y  $T$  PARA LOS APARATOS SANITARIOS TIPO

Aparatos	$t$ (en s)	$T$ (en s)	$p = t/T$
con fluxómetro	9	300	0.030
con depósito	60	300	0.020
bañera o regadera	60	900	0.067
	120	1,800	0.067

Estos valores los establece bajo condiciones límites de uso, es decir, son valores máximos tomados durante las horas pico de la mañana; por ejemplo, el uso de excusados públicos y el uso de regaderas en edificios de departamentos y hoteles. Hace la

excepción para condiciones extraordinarias, como las de las barracas de ejércitos y escuelas durante el descanso, ya que requieren otro tratamiento.

A continuación determina una relación entre  $m$  y  $n$  para estos tres aparatos tipo, observándose que la ecuación II.19 presenta resultados favorables para valores de  $n$  hasta de 150; sin embargo, en la mayoría de los casos se requerirán valores por encima de éste. A fin de soslayar este obstáculo se recurrirá a la sumatoria exponencial de Poisson, la cual es una aproximación de la suma del residuo de las series de la ecuación II.19:

$$P_{m+1}^n + P_{m+2}^n + \dots + P_{n-1}^n + P_n^n \leq 0.01 \quad \text{II.21}$$

Esta ecuación puede adoptar la forma:

$$\sum_{r=m+1}^{r=n} P_r^n = \sum_{r=m+1}^{r=n} \binom{n}{r} (1-p)^{n-r} p^r \leq 0.01, \quad \text{II.22}$$

que proporciona gran exactitud para valores pequeños de  $p$ .

La ecuación II.22 y las curvas que aparecen en la figura 5 de un artículo de Thorndike (34) sirvieron para preparar la tabla II.21, con la que es posible calcular las curvas de probabilidad de los aparatos sanitarios tipo considerados. Los puntos de estas curvas representan valores de  $np$  correspondientes a la probabilidad de más de  $m$  aparatos que no serán encontrados operando simultáneamente en más del uno por ciento del tiempo.

TABLA II.21

VALORES DE  $np$  CORRESPONDIENTES A VALORES DE  $m$   
EN LA SUMATORIA DE LA PROBABILIDAD DE POISSON

$m$	$a = np$	$m$	$a = np$
1	0.25	18	10.30
2	0.60	20	11.80
3	0.95	25	16.25
4	1.35	30	19.50
5	1.85	35	23.45
6	2.35	40	27.50
7	2.90	45	31.55
8	3.50	50	35.65
9	4.10	60	44.15
10	4.75	70	52.85
12	6.00	80	61.55
14	7.42	90	70.30
16	8.85	100	79.00

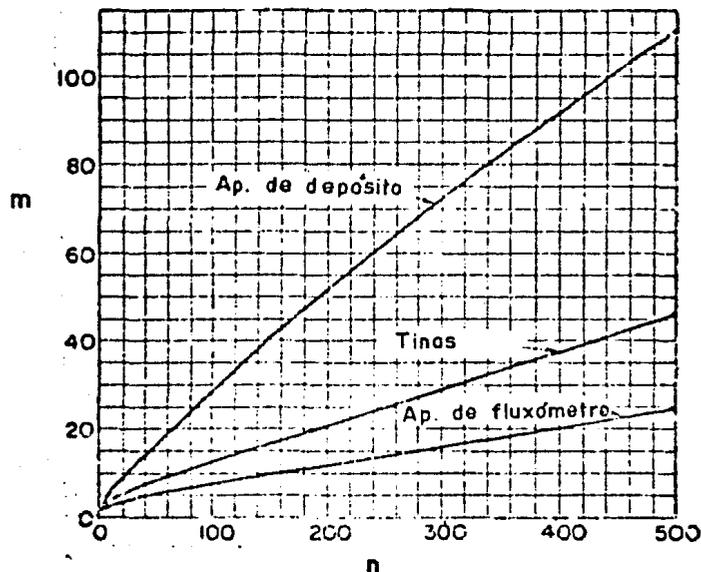
Así, para obtener el valor de  $n$  de la tabla II.21, se supone un valor de  $m$  al que le corresponderá un valor de  $a$  y éste último se dividirá entre el valor de  $p$  escogido según sea el tipo de aparato involucrado.

Puede comprobarse sin dificultad que esta tabla no es más que un resumen de la aplicación de las ecuaciones II.19 y II.21, en combinación con los valores de  $p$  expuestos en la tabla II.20. De la aplicación de dichas ecuaciones pueden obtenerse además, relaciones entre  $m$  y  $n$  para cada aparato tipo, como se observa en la figura II.6 de la siguiente página.

En el gráfico de tal figura la única curva que difiere es la relativa a los excusados que operan mediante depósito de agua; los puntos de esta curva se determinaron empleando valores de  $p$  que están en el intervalo abierto  $(0.15, 0.20)$ , en lugar de  $p = 0.02$ .

FIGURA II.6

RELACION ENTRE EL NUMERO DE APARATOS DE DISEÑO  $m$  Y EL NUMERO DE APARATOS TOTAL  $n$ , EN UN SISTEMA SIMPLE



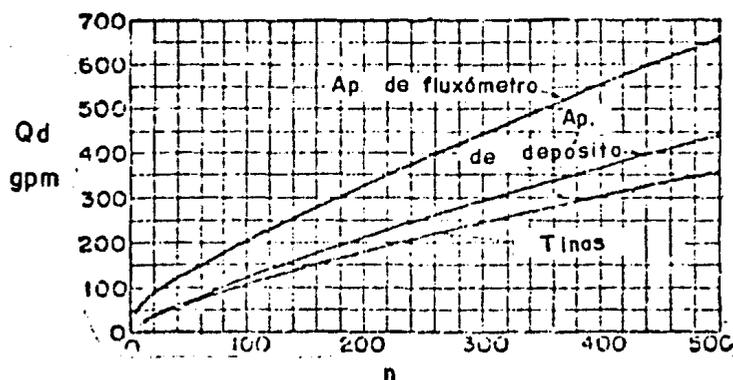
En el siguiente paso del desarrollo se multiplicó el valor de  $m$ , correspondiente a un valor de  $n$ , por el gasto promedio de flujo de cada aparato tipo. Los gastos supuestos son:

- para excusados que operan con fluxómetro 27 gpm
- para excusados que operan con depósito . 4 gpm
- y para regaderas o tinas de baño . . . 8 gpm

A partir de este listado se obtuvieron las curvas para tales aparatos, como se ilustra en la figura II.7 siguiente:

FIGURA II.7

RELACION ENTRE EL GASTO DE DISEÑO Y EL NUMERO TOTAL  $n$  DE APARATOS, DE UN SISTEMA SIMPLE



Consecuentemente, si se tiene un sistema compuesto enteramente por  $n$  aparatos con depósito de agua, operando a la frecuencia promedio —una vez cada cinco min—, se recurre a la curva para aparatos de depósito de la figura II.7, entrando en las abscisas con el número  $n$ , se intersecta la curva y se lee en las ordenadas directamente el gasto de diseño  $Q_d$ . El mismo procedimiento se sigue para el caso de las bañeras y los aparatos de fluxómetro.

Hasta este momento, se ha hecho el análisis como si se tuviera un sistema sencillo hipotético. Sin embargo, esto no sucede en la realidad, ya que un sistema no consiste exclusivamente de un sólo tipo de aparatos; por el contrario, incluye cierto número de lavabos, fregaderos, excusados, bañeras, regaderas, así como de algunos aparatos especiales, tales como fregaderos para desperdicios sólidos, lavadoras de trastos, etc.

Ahora bien, sería demasiado laborioso construir curvas, para cada tipo de aparato, como las estipuladas en la figura II.7.

Además, si se calculara un gasto de diseño, en particular, para  $n_1$  aparatos de fluxómetro, otro para  $n_2$  aparatos de depósito de agua y otro para  $n_3$  regaderas de un sistema dado, el gasto de diseño total no será el que se obtenga de la suma de los tres anteriores, sino menor.

Para cuantificar esta diferencia se puede llevar a cabo una combinación de los gastos con que contribuye cada grupo de los diferentes tipos de aparatos que componen un sistema dado; haciendo intervenir de nuevo la teoría de probabilidades, pero el proceso se complica demasiado al llevarse a la práctica.

Para salvar esta dificultad Hunter ideó un método muy ingenioso, determinando la forma de asignar *factores de gasto de aparatos o unidades de consumo-mueble* de todos los posibles tipos, a fin de representar el grado de influencia o de demanda en un sistema, cuando se usan a su máxima frecuencia estipulada.

#### II.14.4 Determinación de las unidades de consumo-mueble

Los factores de gasto o *unidades de consumo-mueble* para aparatos de fluxómetro, de depósito y para regaderas, que se relacionan con el abastecimiento del sistema, se determinan como a continuación se explica. Primero se establece arbitrariamente la unidad de consumo-mueble de 10 para los aparatos de fluxómetro, que son los que demandan mayor gasto. Después se observa en la figura II.7 que el número total de aparatos de fluxómetro, de depósito y de bañeras o regaderas, que corresponden a un gasto de diseño de 150 gpm, son 57, 133 y 164, respectivamente. Esto es, el gasto con el cual se diseñaría un sistema consistente de 57 excusados equipados con fluxómetro, que se usen con la

frecuencia promedio especificada, probablemente no excederá de 150 gpm, salvo en 1% del tiempo. Con el mismo gasto podría diseñarse un sistema que tuviera una batería de 133 excusados equipados con tanque o un sistema que contara con 164 regaderas. Valores similares de  $n$  se determinan para los mismos tres aparatos tipo, tomando gastos de diseño de 200, 250 y 300 gpm, los cuales se tabulan en la tabla II.22:

TABLA II.22

DEMANDA RELATIVA, FACTOR DE GASTO DE APARATOS

Demanda (gpm)	Aparatos con fluxómetro		Aparatos con depósito		Tinas de baño o regaderas	
	Número de aparatos $n$	factor de gasto $f$	Número de aparatos $n$	factor de gasto $f$	Número de aparatos $n$	factor de gasto $f$
150	57	10	133	4.29	164	3.48
200	97	10	187	5.19	234	4.15
250	138	10	245	5.63	310	4.45
300	178	10	307	5.80	393	4.53
Factor promedio . . .		10		5.25		4.15
Valor elegido . . .		10		5		4

Del análisis de la tabla anterior se desprende que las subsecuentes unidades de consumo-mueble ( $f$ ) se determinaron como sigue. Respecto al gasto de 150 gpm, se multiplica la unidad de consumo-mueble del fluxómetro (10) por 57 y se divide por 133, obteniéndose 4.29, que es la parte proporcional de la unidad de consumo-mueble que le corresponde a los aparatos de depósito de agua. Para las bañeras se efectúa el mismo procedimiento, 10 por 57 y este producto entre 164 obteniéndose 3.48. De igual manera se obtienen los correspondientes valores de  $f$  para 200, 250 y 300 gpm.

Pero, esas partes proporcionales de la unidad de consumo-mueble obtenidos para aparatos de depósito y bañeras o regaderas, al parecer incrementan relativamente su valor en proporción al gasto incrementado. Sin embargo, lo que realmente sucede es que los valores se acercan a un límite para ambos tipos de aparatos, en lugar de crecer indefinidamente. Por esta razón se toma un valor promedio, como se muestra al pie de la misma tabla II.22. Más aún, esta decisión se apoya en el punto de vista de que las incertidumbres en el proceso de determinación de los gastos de diseño son tan grandes que no tiene caso dar valores más exactos a estas fracciones de la unidad de consumo-mueble, para los aparatos tomados como prototipo de este análisis.

Además de las anteriores consideraciones, debe tenerse presente que esta clasificación de las unidades de consumo-mueble no es tá en proporción al gasto que demanda un determinado aparato; por el contrario, dichos promedios son números que expresan el efecto del gasto de tal aparato sobre una instalación sanitaria. De aquí que la fracción de la unidad de consumo-mueble de un aparato con depósito se tome como el número 5 y, en forma similar, para una bañera o regadera se tome el número 4, que son los valores escogidos por Hunter (35). Respecto al *factor de gasto*, sería más conveniente usar el término *unidad de consumo-mueble*, dado que no es un factor que está en proporción al gasto, como ya se expuso.

Ahora se describirá la forma como se asignaron valores similares a otros tipos de aparatos sanitarios.

Si bien otros aparatos, entre los que se cuenta a las lavadoras de ropa y de trastos, a los fregaderos de cocina y a los lavabos son instalados en gran número de edificios departamentales, no obstante, a los excusados y a las regaderas se les considera como los aparatos sanitarios que imponen la mayor parte

de la demanda pico.

Con respecto a los aparatos controlados por grifos, como las regaderas, los fregaderos, los lavabos, etc., existe una característica difícil de evaluar y se refiere, tanto al tiempo de una operación —llamada también *duración de uso*— como a su frecuencia, pues ambos aspectos dependen esencialmente de los hábitos personales de la gente que los usa. Un intento por hacer convenientemente exacto el método de la determinación del gasto de diseño, consiste en tomar en cuenta estos aspectos al asignarse las unidades de consumo-mueble a los aparatos sanitarios.

Al analizar a los *lavabos* se observa que son instalados en la misma cantidad, aproximadamente, que los excusados; también se observa que el gasto es menor en los primeros, en parte porque el porcentaje promedio de flujo es mucho más pequeño que el de un fluxómetro y, además, porque el tiempo durante un uso individual es mucho menor que el requerido para llenar el depósito de agua de un excusado. Puesto que la unidad de consumo-mueble que se ha adoptado es de 10 —correspondiente a los excusados de fluxómetro—, este valor también servirá de base para asignarle la unidad de consumo-mueble a los lavabos y en general a todos los demás aparatos.

Si se supone que el excusado o el mingitorio públicos se usan una vez cada 5 min, en promedio, por cada uno de estos usos existirá otro de los lavabos; consecuentemente la frecuencia de uso será la misma, y por lo tanto puede confrontarse con respecto a la cantidad de agua que involucra el uso particular de cada aparato, mediante una regla de tres simple. Dado que un aparato con fluxómetro utiliza 4 gal de agua en cada operación, y para él se adoptó el 10 como la unidad de consumo-mueble, si suponemos que la cantidad de agua requerida para cada uso de un lavabo es de  $3/4$  de gal, se tendrá, con la regla mencionada,

$x = (3/4 \times 10) / 4 = 1.88$  . Pero como no se justifica el uso de cantidades fraccionarias, se asigna el 2 a los lavabos como su correspondiente parte proporcional de la unidad de consumo-mueble. Este valor es, probablemente, un poco grande; mientras que si se tomara el 1, probablemente sería bajo, por lo que Hunter prefirió aproximar al valor superior, manejándolo como un factor de seguridad (36).

Es conveniente hacer hincapié en que, para este caso, sí fue asignada la unidad de consumo-mueble en forma proporcional al gasto que el aparato requiere para dar un servicio satisfactorio; adviértase, además, que para estos dos muebles en particular se seleccionaron frecuencias iguales. Hunter propuso (37) que para la asignación de la fracción de unidad de consumo-mueble a un aparato usado irregularmente, el diámetro para su abastecimiento y la cantidad de agua utilizada en cada operación deben tomarse como una base parcial que, en combinación con la probabilidad de uso, proporciona una alternativa para cuantificar el efecto que el uso de cualquier aparato sanitario produce sobre el sistema.

Hunter desarrolla un análisis para asignarle la fracción correspondiente de la unidad de consumo-mueble a los fregaderos de cocina, tomando en cuenta algunos diagramas de barras en los cuales se observan picos de gastos debidos a dichos aparatos. Vease la figura II.8.

Finalmente, declara que no se comprobará la asignación de las fracciones correspondientes de la unidad de consumo-mueble para los demás aparatos sanitarios, agregando que la selección de estos valores es siempre debida a la experiencia.

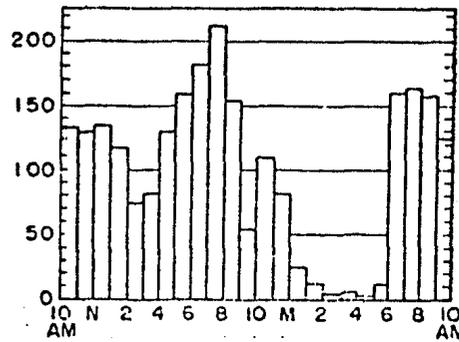
Al aplicar la teoría de la probabilidad al problema de diseño

de gastos, para sistemas de plomería, se introducen muchos factores de seguridad entre los cuales el más obvio es la suposición de frecuencias máximas de uso.

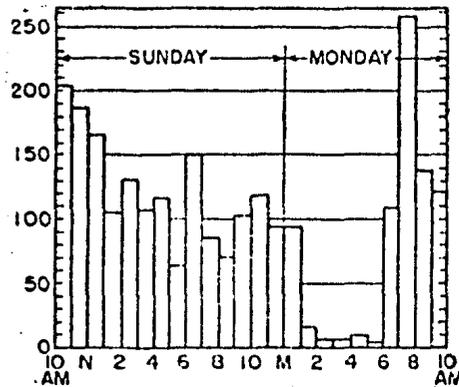
FIGURA II.8

DISTRIBUCION DE LA DEMANDA EN UN SISTEMA DE SUMINISTRO, DURANTE 24 HORAS

PORCENTAJE PROMEDIO DE LA DEMANDA



REGISTROS EN CASAS HABITACION UNIFAMILIARES



REGISTROS EN 32 DEPARTAMENTOS UNIFAMILIARES

Las fracciones de la unidad de consumo-mueble que el Dr. Roy B. Hunter propone para diferentes aparatos sanitarios, con respecto a su demanda en el sistema de suministro de agua, se presentan en la tabla 18.3.5 del Código Nacional de Plomería de los Estados Unidos de Norteamérica y que se transcribe a continuación en la tabla II.23:

TABLA II.23

DEMANDA DE LOS APARATOS EN UNIDADES DE CONSUMO-MUEBLE <sup>1</sup>

Código	Aparatos	Servicio	Control del abastecimiento	Unidad de consumo-mueble
101	Excusado	Público	Fluxómetro	10
51	Excusado	Público	Tanque	5
102	Mingitorio	Público	Fluxómetro	10
52	Mingitorio de pared	Público	Fluxómetro	5
31	Mingitorio de pared	Público	Tanque	3
21	Lavabo	Público	Llave	2
41	Tina de baño	Público	Llave	4
42	Regadera	Pública	Llave mezcladora	4
32	Fregadero para limpieza	Oficinas, etc	Llave	3
43	Fregadero de cocina	Hotel o rest.	Llave	4
61	Excusado	Privado	Fluxómetro	6
33	Excusado	Privado	Tanque	3
11	Lavabo	Privado	Llave	1
22	Tina de baño	Privado	Llave	2
23	Regadera	Privada	Llave mezcladora	2
81	Cuarto de baño	Privado	Con exc de fluxómetro	8
62	Cuarto de baño	Privado	Con excde tanque	6
24	Regadera separada	Privado	Llave mezcladora	2
25	Fregadero de cocina	Privado	Llave	2
34	Lavadero	Privado	Llave	3
35	Aparatos combinados	Privado	Llave	3

<sup>1</sup>Para los aparatos que no aparecen en esta lista, se puede suponer la correspondiente parte de la unidad de consumo-mueble, haciendo una comparación con los asignados en dicha lista.

### III APLICACION DE LAS COMPUTADORAS Y EVALUACION DEL METODO OPTIMO

En la investigación de los métodos existentes, realizada en el capítulo que precede, ésta se llevó a efecto en forma tan exhaustiva como fue posible, de tal manera que tan sólo con su lectura se fuera normando un criterio de evaluación para escoger el método que se adaptara a las condiciones de diseño que exige la Ciudad de México en particular y el país en general. Es por esto que en los comentarios que siguen no se profundizará demasiado, únicamente se resaltarán ciertos detalles para fundamentar la decisión que se tomará.

#### III.1 EVALUACION DEL METODO OPTIMO

Complementando el análisis efectuado, en seguida se resumen

algunos datos importantes de cada uno de los métodos, con el objeto de presentar una visión global de todos ellos:

TABLA III.1

## RESUMEN DE LOS METODOS EXISTENTES

Núm	Nombre del método	Autor	País de origen del autor	Año de creación	Método empírico o probabilístico
1	Método Británico	Varios	Londres, Inglaterra	1946	Empírico
2	Método de Dawson y Bowman	F.M. Dawson y J.S. Bowman	Universidad de Wisconsin	1933	Empírico
3	Método de Dawson y Bowman	F.M. Dawson y A.A. Kalinske	N.A. of M.P. de los U.S.A.	1932	Empírico
4	Método de Kessler	Lewis H. Kessler	A.S. of S.E. de los U.S.A.	1934 y 1946	Empírico
5	Método Americano. Primer Procedimiento	Angelo Gallizio	Italia	1942	Empírico
6	Método Alemán de la raíz cuadrada	Anónimo	Alemania	1940	Probabilístico
7	Método propuesto por La Sociedad impulsora del cobre.	CCISSA	México, D.F.	1972	Probabilístico
8	Método americano. 2do. Procedimiento	Angelo Gallizio	Italia	1942	Probabilístico
9	Métodos Franceses	Varios	Francia	1949	Probabilístico
10	Método de Wise y Croft	A.F.E. Wise y J. Croft	Inglaterra	1954	Probabilístico
11	Método Probabilístico de Hunter	Dr. Roy B. Hunter	U. S. A.	1924 a 1940	Probabilístico

De la tabla III.1 sobresalen los siguientes datos:

- 1) Existen más de los 11 métodos, de los cuales se omitieron algunos por presentar similitud con los desarrollados, como se menciona en el capítulo II; en otros casos debido a la falta de información;
- 2) De un total de 11 métodos, los 5 primeros son empíricos y los 6 siguientes son probabilísticos;
- 3) Se observa que los métodos empíricos fueron creados en el lapso de 1932 a 1946; después de este último año no se generó ningún otro.
- 4) Entre los probabilísticos, el primero culminó su desarrollo en 1940 y el último en 1954; no se toma en cuenta el que presenta la CCISSEA en 1972 ya que es una aplicación del método de Hunter;
- 5) Los Estados Unidos de Norteamérica es el único país de América que emprende estudios al respecto, a partir de los cuales se han establecido 3 métodos empíricos y uno probabilístico.
- 6) Complementando el inciso anterior, se hace hincapié en la influencia decisiva que el método probabilístico de Hunter ejerció en las publicaciones europeas;
- 7) Son varios los países de Europa que presentan estudios de este tipo; siguiendo el orden de la tabla, se tiene a Inglaterra con uno empírico y uno probabilístico, Italia también uno empírico y otro probabilístico, quedando Alemania y Francia con un método probabilístico cada uno.

La investigación realizada hasta aquí provee de suficientes razones para pensar que de todos los métodos el óptimo es el probabilístico ideado por el Dr. Roy B. Hunter. A esta elección se llegó, entre otras razones, porque es el único que, después de varios años, fue mejorado adaptándolo a las condiciones actuales. Esto no sucedió ni con el método probabilístico desarrollado por los ingleses en 1954, ya que ni ellos ni ningún otro de los demás países se ha preocupado por la continuación o por un estudio más profundo de los parámetros que afectan el diseño del gasto, para una instalación de plomería.

### III.2 EL METODO PROBABILISTICO DE HUNTER, EL OPTIMO

Durante el tiempo que ha transcurrido desde que Hunter estableció, para los diferentes tipos de aparatos sanitarios, los valores de las frecuencias de uso ( $T$ ) y del tiempo de una operación o duración del uso ( $t$ ), así como la cantidad de agua que demanden en una operación simple y el porcentaje promedio de flujo que requieren, estos valores han variado, fundamentalmente a partir del cambio de que ha sido objeto el diseño de los aparatos sanitarios.

Muchos ingenieros consultores dedicados al proyecto de instalaciones han objetado y discutido tales valores, por considerarlos altos, arguyendo que con ellos se llega al sobredimensionamiento de las tuberías de la instalación. Es por esto que la Sociedad Americana de Ingeniería Sanitaria (A.S.S.E.) y el Laboratorio Davidson del Instituto Stevens de Tecnología en Hoboken, Nueva Jersey, canalizaron recursos para la investigación de los parámetros básicos de la frecuencia y la duración del uso. En seguida se da un resumen de los resultados de la investigación mencionada

C. J. D. Webster inició las investigaciones en 1972, a raíz de las cuales presentó un nuevo procedimiento de diseño mediante el que se determina el efecto de la frecuencia de uso sobre los gastos máximos de diseño. En 1975, T.P. Konen y D. Monihan demostraron lo importante que son algunas innovaciones que propusieron en el diseño de instalaciones de plomería para edificios de departamentos de gran altura. El mismo T.P. Konen junto con W.Y. Chan, en 1979 realizaron estudios experimentales con el fin de obtener datos que permitieran definir valores, más ape-

gados a la realidad, de la frecuencia y la duración del uso de los aparatos sanitarios, para el mejor diseño de una instalación.

Los primeros resultados en relación al consumo de agua se obtuvieron a partir de las observaciones efectuadas, en 1973, en el edificio de dormitorios para estudiantes casados del Instituto Stevens; de ellas se dedujo que en muy raras ocasiones el gasto máximo instantáneo sobrepasó los 4.4  $\ell/s$ , (70 gpm).

Tomando en cuenta que se trata de un edificio de 72 departamentos, el método de Hunter indica que la probabilidad de uso simultáneo sería de 7 excusados, mientras que los datos experimentales indicaron que son 2 excusados únicamente. Si se sustituye en el modelo de Hunter este último dato real como valor de diseño, la frecuencia de uso para un solo mueble resulta de 20 min aproximadamente, lo cual confirma que la frecuencia de uso es la variable más importante en el modelo de Hunter.

Conociendo el número real de aparatos de diseño, a partir del trabajo experimental de campo, y teniendo en cuenta que la duración de uso de un aparato es constante bajo definidas condiciones de presión específica en el suministro de agua, se planteó la función de probabilidad de Hunter, de la siguiente manera:

$$f(T) = \sum_{r=0}^{r=m} \binom{n}{r} (t/T)^r (1-t/T)^{n-r} - 0.99 \leq 0, \quad \text{III.1}$$

donde  $f(T)$  sólo es la función de probabilidad de  $T$ .

Si se obtiene la primera derivada de la función de probabilidad de Hunter, con respecto a  $T$ , y si se conoce el número real de aparatos de diseño, la expresión correspondiente a la frecuencia

de uso puede resolverse utilizando el método de iteraciones de Newton, como se indica:

$$T_{i+1} = T_i - \frac{f(T)}{f'(T)} \quad \text{III.2}$$

En ocasiones la convergencia resulta muy rápida, pero cuando esto no ocurre, es recomendable el uso de la siguiente expresión:

$$\left| \frac{T_{i+1} - T_i}{T_{i+1}} \right| \leq \Delta, \quad \text{III.3}$$

donde  $\Delta$  es el límite de error permisible de la cantidad crítica, o sea el error relativo que se admite en lugar del error mismo.

Estos resultados, recopilados por Wen-Yung W. Chan y Lawrence K. Wang, se publicaron en el Journal de la A.W.W.A. de Agosto de 1980, con el objeto de que los ingenieros proyectistas de instalaciones contaran con valores más exactos al aplicar el Método de Hunter en el diseño de las tuberías que integran la instalación de plomería de un edificio.

No obstante, cabe enfatizar que los valores asumidos por Hunter para los parámetros básicos  $t$  y  $T$ , así como las curvas que él determinó, continúan siendo la base de los diferentes métodos de cálculo que se emplean actualmente en los códigos sanitarios, tanto de los Estados Unidos de Norteamérica como en los de muchos otros países americanos y europeos.

### III.3 APLICACION DE LAS COMPUTADORAS

El método probabilístico de Hunter basa su desarrollo en dos distribuciones de probabilidad; la primera está dada por la ecuación II.19 y se trata de la distribución de probabilidad binomial; la segunda corresponde a la ecuación II.22 y es la distribución de probabilidad de Poisson. Ambas ecuaciones son aplicables cuando se tienen *sistemas sencillos*, es decir, baterías de aparatos sanitarios sanitarios de un sólo tipo. Con estas ecuaciones Hunter define una curva que relaciona el número total  $n$  de aparatos instalados con el número probable  $m$  de aparatos que puede encontrarse en operación simultánea. El número  $m$  así obtenido se multiplica por el gasto de uno de los aparatos tipo, dando como resultado el gasto de diseño  $Q_d$ , que será conducido por la tubería del sistema.

Las dos ecuaciones mencionadas se adaptaron a un programa de computadora, con el fin de corroborar los datos que Hunter utilizó para construir las curvas de cada uno de los tres aparatos tipo.

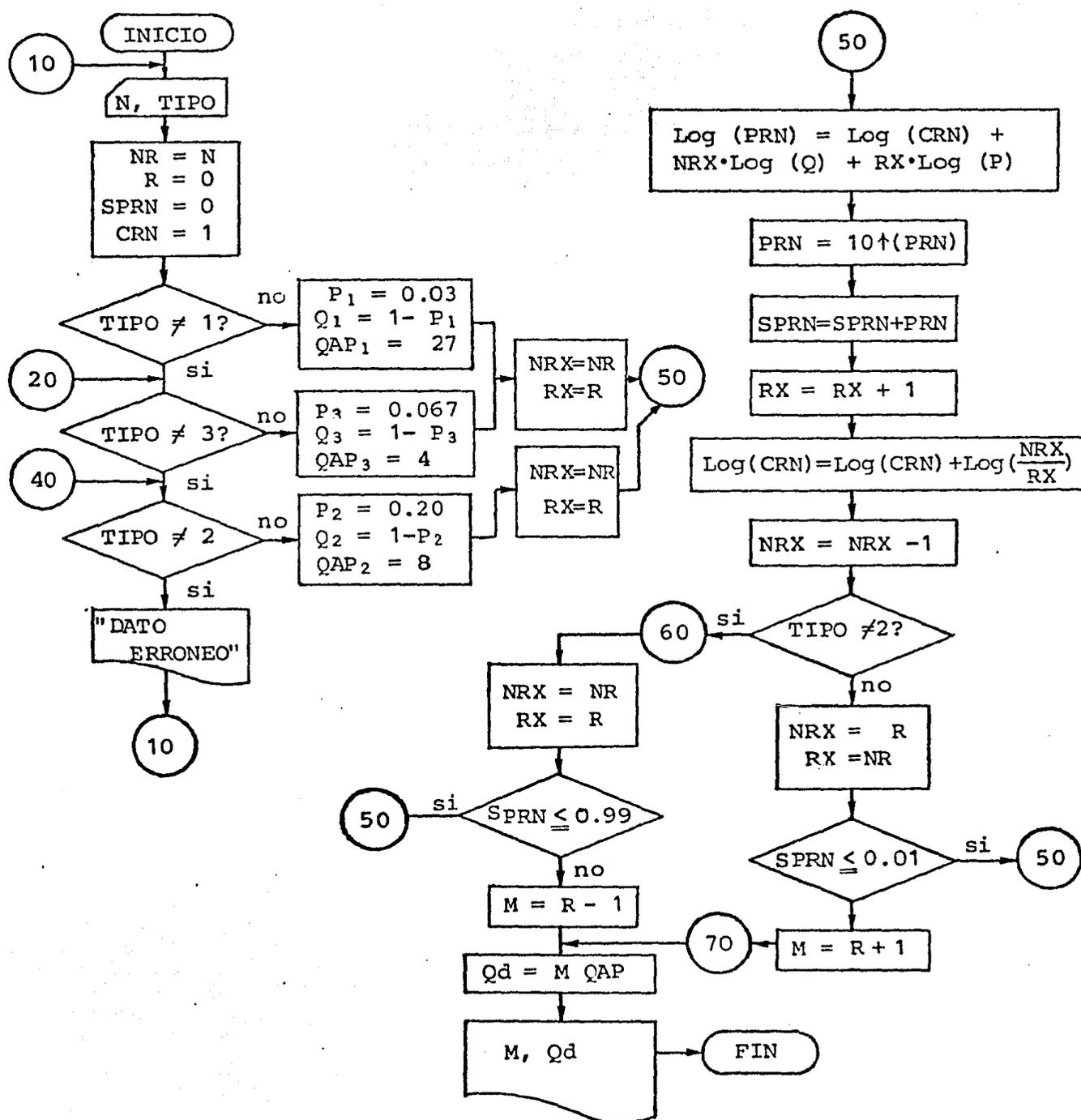
Previamente a la programación se realizan los diagramas de flujo, mediante los cuales es posible visualizar las operaciones que se efectuarán en el programa, independientemente del superlenguaje y de la máquina computadora que se utilicen.

Los datos que se requieren para la ejecución del programa son el tipo de aparato y el número total de ellos que serán colocados en un sistema dado. Cuando el programa solicite el primer dato se tecleará el número 1 si el sistema está compuesto únicamente por excusados de fluxómetro; el número 2 si lo está

por excusados de depósito o el número 3 si se trata únicamente de regaderas o tinas de baño.

FIGURA III.1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DE HUNTER  
PARA UN SISTEMA SENCILLO



Con apego a la secuencia del diagrama de flujo se codifica el programa según el superlenguaje de la computadora disponible.

Este primer programa se adaptó para ejecutarse en una calculadora programable HP 41/CV, cuyo listado se presenta a continuación.

01	LBL	MHSS		01	X≠Y?	
02	0.03			02	GTO	20
03	LOG					
04	STO	20		03	SF	01
05	0.97			04	20	
06	LOG			05	STO	29
07	STO	21		06	21	
08	27			07	STO	30
09	STO	22		08	22	
10	0.067			09	STO	31
11	LOG			10	GTO	30
12	STO	23				
13	0.933			11	LBL	20
14	LOG			12	3	
15	STO	24		13	RCL	00
16	4			14	X≠Y?	
17	STO	25		15	GTO	40
18	0.20					
19	LOG			16	SF	03
20	STO	26		17	23	
21	0.80			18	STO	29
22	LOG			19	24	
23	STO	27		20	STO	30
24	8			21	25	
25	STO	28		22	STO	31
26	LBL	10		23	LBL	30
27	CANT DE	AP?		24	34	
28	PROMPT			25	STO	32
29	STO	34		26	35	
30	0			27	STO	33
31	STO	35		28	GTO	50
32	STO	36				
33	STO	37				
34	TIPO DE	AP?				
35	PROMPT					
36	STO	00				
37	1					
38	RCL	00				

01 LBL 40  
 02 2  
 03 RCL 00  
 04  $X \neq Y?$   
 05 GTO 10

06 SF 02  
 07 26  
 08 STO 29  
 09 27  
 10 STO 30  
 11 28  
 12 STO 31  
 13 35  
 14 STO 32  
 15 34  
 16 STO 33

17 LBL 50  
 18 RCL 37  
 19 RCL IND 32  
 20 RCL IND 30  
 21 \*  
 22 +  
 23 RCL IND 33  
 24 RCL IND 29  
 25 \*  
 26 +  
 27  $10 \uparrow X$   
 28 ST+ 36  
 29 1  
 30 ST+ IND 33  
 31 RCL IND 32  
 32 RCL IND 33  
 33 /  
 34 LOG  
 35 ST+ 37  
 36 1  
 37 ST- IND 32  
 38 FC? 02  
 39 GTO 60

01 0.01  
 02 RCL 36  
 03  $X \leq Y?$   
 04 GTO 50

05 1  
 06 ST+ IND 33  
 07 GTO 70

08 LBL 60  
 09 0.99  
 10 RCL 36  
 11  $X \leq Y?$   
 12 GTO 50  
 13 1  
 14 ST- IND 33

15 LBL 70  
 16 RCL IND 33  
 17 AP OP SIM=  
 18 ARCL X  
 19 AVIEW  
 20 STOP

21 RCL IND 31  
 22 \*  
 23 Qd=  
 24 ARCL X  
 25 AVIEW

26 END

Ahora se elaborará el segundo programa para calcular el gasto de diseño de un sistema mixto, auxiliándose con los datos de la tabla II.23. Puede observarse que en esta tabla se asignó previamente un código a los aparatos sanitarios que en ella se consignan, los cuales se incorporaron al propio programa, para que, cuando se requieran, los asocie a su respectiva unidad de consumo-mueble<sup>1</sup> y para que contabilice la cantidad total de unidades de consumo del sistema.

Hunter preparó dos gráficos (38) para que, con el total de unidades de consumo-mueble del sistema, se determine directamente el gasto de diseño. En seguida se presentan dichos gráficos:

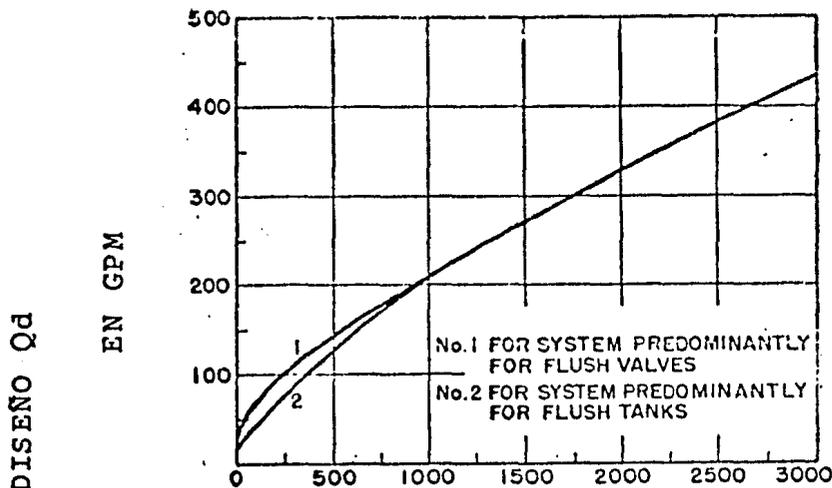


FIGURA III.2

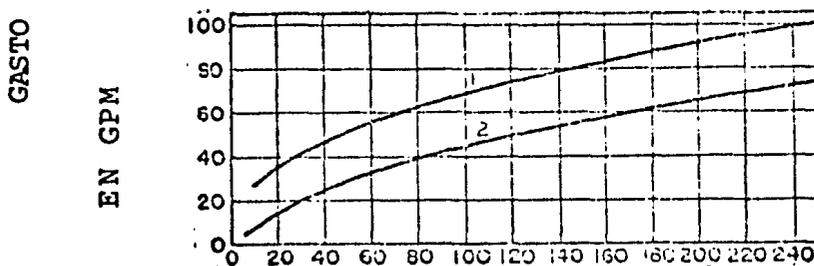


FIGURA III.3

<sup>1</sup>En lo sucesivo, se denominará *unidad de consumo-mueble* para un aparato cualquiera a la parte proporcional que le corresponda de la unidad de consumo-mueble original que, como se sabe, es 10.

Como estas curvas no son producto de alguna función, se utilizó el método de los mínimos cuadrados a fin de que cada una de esas se aproximara a una recta, obteniéndose las siguientes funciones lineales y sus rangos, cuyo desarrollo puede consultarse en el apéndice B.

$$\begin{aligned}
 Qd_1 &= 46.0317 + 0.1913 \text{ UCM}_1 & 10 \leq \text{UCM}_1 < 750 \\
 Qd_2 &= 19.9658 + 0.2215 \text{ UCM}_2 & 10 \leq \text{UCM}_2 < 750 & \text{ III.4} \\
 Qd_3 &= 97.1603 + 0.1136 \text{ UCM}_3 & \text{UCM}_3 \geq 750
 \end{aligned}$$

Con las ecuaciones III.4 se realiza la codificación del programa, utilizando el superlenguaje *Basic*, de acuerdo al diagrama de flujo que aparece en la figura B.1 del Apéndice B.

```

10  REM  I N S T R U C C I O N E S
20  REM
30  REM  1. CLASIFICAR LOS APARATOS Y VER CUANTOS TIPOS DIFERENTES EXISTEN.
40  REM  2. CUANTIFICAR LOS APARATOS SANITARIOS DE UNA EDIFICACION, SEGUN EL TIPO QUE DE ELLOS SEAN.
50  REM
60  REM  3. TOMAR EN CUENTA EL CODIGO ASIGNADO A CADA TIPO DE
70  REM  APARATO, DE ACUERDO A LA TABLA II.23
80  REM
90  SW = 0
100 UCM= 0
110 INPUT "DECIR CUANTOS DIFERENTES TIPOS DE APARATOS EXISTEN "; N
120 FOR  I = 1 TO N
130     INPUT "CODIGO DEL TIPO DE APARATOS " CAP(I)
140     IF  CAP(I) > 51 THEN
                                IF  CAP(I)=62 THEN GO TO 150
                                ELSE SET  SW=1

```

```
150     INPUT "CANTIDAD DE APARATOS DE ESE TIPO" NAP(I)
160     UCM = UCM + (INT (CAP(I)/10)) * NAP(I)
170 NEXT I
180 REM
190 REM
200 IF    UCM < 750      THEN GO TO 240
210     J = 3
220     QD(J) = 97.1603 + 0.1136 * UCM
230     GO TO 300
240 IF    SW = 1        THEN GO TO 280
250     J = 2
260     QD(J) = 19.9658 + 0.2215 * UCM
270     GO TO 300
280 J = 1
290 QD(J) = 46.0317 + 0.1913 * UCM
300 PRINT "EL GASTO DE DISEÑO PARA ESTA INSTALACION, EN GPM, ES: " QD(J)
350 END
```

#### IV METODOS EXISTENTES PARA EL CALCULO DE UNA INSTALACION SANITARIA Y APLICACION DE LAS COMPUTADORAS

Al inicio de este trabajo se estableció que una instalación sanitaria es el sistema de tuberías que empieza en los aparatos y termina en la acometida del alcantarillado público, cuya finalidad es conducir los fluidos o el agua de deshecho fuera del edificio.

Por tal motivo, la instalación sanitaria también recibe el nombre de sistema de drenaje, o bien, sistema para el desagüe de aguas negras y de aguas pluviales.

#### IV.1 METODOS PARA ENCONTRAR EL DIAMETRO EN UNA INSTALACION SANITARIA

La investigación realizada para encontrar los métodos para resolver el problema de la determinación del gasto de diseño, en una instalación sanitaria, permitió llegar a la conclusión de que tal problema no existe; es decir, no tiene caso la determinación de un gasto de diseño, pues aunque este se calculase y se combinara con alguna de las fórmulas o métodos de la Hidráulica, ni aún así podrían determinarse los diámetros de las tuberías de desagüe.

De los autores e instituciones que presentaron métodos para encontrar el gasto de diseño de una instalación hidráulica, únicamente tres de ellos ofrecen criterios para la elección de los *diámetros* de las diferentes partes de que se compone la instalación sanitaria, como son los ramales, colectores, bajantes, tubos de ventilación, etc. A continuación se dan breves resúmenes de dichos criterios.

#### IV.2 METODO DEL CODIGO NORTEAMERICANO O DE HUNTER

Las normas de los Estados Unidos de Norteamérica no mencionan a alguien que haya efectuado estudios en lo referente a la instalación de drenaje; pero debido a que se está utilizando el criterio del Dr. Roy B. Hunter, para la asignación de las *unidades-mueble* para cada aparato sanitario y estas unidades son emplea

das por las normas, es conveniente identificar el método como fue hecho en el subtítulo IV.2 de este párrafo.

Las unidades-mueble<sup>1</sup> no sirven ahora para establecer un gasto de diseño, como podría esperarse, si no como una base para escoger el diámetro del *sifón* de cada aparato en la forma que se expone en la tabla 11.4.2 del código mencionado, la cual se presenta aquí como la tabla IV.1.

<sup>1</sup> En una instalación sanitaria o de drenaje no se puede utilizar el término *unidad de consumo-mueble*; en todo caso, *unidad de descarga-mueble*. Pero resulta mas cómodo y comprensible el nombre de *unidad-mueble*, como se usará desde ahora.

TABLA IV.1

## UNIDADES-MUEBLE PARA APARATOS O GRUPO DE APARATOS

Tipo de aparato	Unidad mueble	Diámetro mínimo para el sifón	
		pulg	cm
Un cuarto de baño. Conteniendo excusado, lavabo y tina de baño o regadera; (wcf si el excusado opera con fluxómetro o wct si lo hace con tanque)	wcf 8 wct 6		
Tina de baño (con o sin regadera) . . . . .	2	1.5	3.81
Tina de baño . . . . .	3	2.0	5.08
Bidé . . . . .	3	1.5	3.81
Combinación de fregadero y lavadero . . . . .	3	1.5	3.81
Combinación de fregadero, lavadero y unidad para des desperdicios de comida (con sifón separado) . . . . .	4	1.5	3.81
Unidad dental o escupidera dental . . . . .	1	1.25	3.18
Lavabo dental . . . . .	1	1.25	3.18
Bebedero de fuente . . . . .	0.5	1.0	2.54
Máquina lavaplatos doméstica . . . . .	2	1.5	3.81
Sumidero de piso . . . . .	1	2.0	5.08
Fregadero de cocina . . . . .	2	1.5	3.81
Fregadero de cocina con unidad para desperdicio de comida	3	1.5	3.81
Lavabo de un grifo . . . . .	1	1.25	3.18
Lavabo con dos grifos . . . . .	2	1.5	3.81
Lavabo en peluquerías o salones de belleza . . . . .	2	1.5	3.81
Lavabo en consultorios . . . . .	2	1.5	3.81
Lavadora . . . . .	2	1.5	3.81
Regadera de uso privado . . . . .	2	2.0	5.08
Grupo de regaderas en uso público . . . . .	3		
Fregadero de consultorio . . . . .	3	1.5	3.81
Fregadero con grifo de cierre automático . . . . .	8	3.0	7.62
Fregadero de servicio con sifón standard . . . . .	3	3.0	7.62
Fregadero de servicio con sifón en P . . . . .	2	2.0	5.08
Mingitorio de fluxómetro . . . . .	8	3.0	7.62
Mingitorio de cierre manual . . . . .	4	2.0	5.08
Excusado de fluxómetro . . . . .	8	3.0	7.62
Excusado de tanque . . . . .	4	3.0	7.62

El tubo ramal de cada aparato puede colocarse del mismo tamaño que el diámetro de cada sifón. Después, con las unidades-mueble correspondientes a cada aparato y comenzando desde el punto más alejado o en el aparato más elevado, se van eligiendo los diámetros tanto de los tubos horizontales como de los bajantes, hasta llegar a la acometida, de acuerdo al número máximo de unidades-mueble que se van descargando en cada tramo, conforme se avanza. Las siguientes tablas sirven de guía para este propósito.

TABLA IV.2

BAJANTES Y ALBAÑALES<sup>1</sup> DE EDIFICIOS

Diámetro del tubo (en pulg)	Número máximo de unidades-mueble que pueden descargarse por tramo de bajante y por tramo de albañal			
	Tramo de bajante por cada pie			
	1/16 pulg	1/8 pulg	1/4 pulg	1/2 pulg
2	...	...	21	26
2.5	...	...	24	31
3	...	20 <sup>2</sup>	27 <sup>2</sup>	36 <sup>2</sup>
4	...	180	216	250
5	...	390	480	575
6	...	700	840	1,000
8	1,400	1,600	1,920	2,300
10	2,500	2,900	3,500	4,200
12	3,900	4,600	5,600	6,700
15	7,000	8,300	10,000	12,000

<sup>1</sup> Incluyéndose los ramales de los bajantes y los albañales.

<sup>2</sup> No más de dos excusados.

**TABLA IV.3**  
**RAMALES HORIZONTALES DE LOS APARATOS Y REGISTROS**

Diámetro del tubo (en pulg)	Número máximo de unidades-mueble que pueden descargarse a:			
	Cualquier <sup>1</sup> ramal horizontal de aparato	Un registro por 3 pisos o por 3 tramos	Más de 3 pisos de altura	
			Total por registro	Total de un piso o tramo de ramal
1.25	1	2	2	1
1.5	3	4	8	2
2	6	10	24	6
2.5	12	20	42	9
3	20 <sup>2</sup>	30 <sup>3</sup>	60 <sup>3</sup>	16 <sup>2</sup>
4	160	240	500	90
5	360	540	1,100	200
6	620	960	1,900	350
8	1,400	2,200	3,600	600
10	2,500	3,800	5,600	1,000
12	3,900	6,000	8,400	1,500
15	7,000			

<sup>1</sup>No incluye los ramales de los bajantes.

<sup>2</sup>No más de dos excusados.

<sup>3</sup>No más de seis excusados.

#### IV.3 METODO AMERICANO. TERCER PROCEDIMIENTO

Por su parte, Angelo Gallizio declara expresamente (40) que no pueden emplearse las fórmulas de hidráulica en la determinación de los diámetros, pues existen una serie de factores de incertidumbre muy difíciles de evaluar y que únicamente pueden calcularse en base a los resultados de numerosas experiencias, como él establece en seguida.

Empieza clasificando los aparatos y, dependiendo del edificio en que están instalados, los denomina de la siguiente manera:

*Primera clase o privada*, si son aparatos sanitarios instalados en viviendas, cuartos de baño privados en hoteles, e instalaciones similares destinadas al uso individual o al uso de una familia.

*Segunda clase o semipública*, si son aquéllos instalados en oficinas, fábricas, ministerios y en general en lugares donde los aparatos son utilizados por un número limitado de personas durante las horas hábiles. Y los de

*Tercera clase o pública*, correspondientes a las instalaciones - donde no hay limitación en el número de personas, ni en el número de usos, como pueden ser los excusados y baños públicos, los excusados y lavabos de las terminales aéreas, de autobuses y de ferrocarriles, así como los instalados en edificios escolares, cuarteles, etc.

Con esta clasificación y adoptando un gasto 28 l/min como *unidad de descarga*, en la tabla IV.4 da las unidades de descarga correspondientes a los distintos aparatos y los diámetros mínimos del sifón y de la derivación de descarga que debe adoptarse.

TABLA IV.4

UNIDADES DE DESCARGA Y DIAMETRO MINIMO EN DERIVACIONES Y SIFONES

CLASE DE APARATOS	Unidades de descarga			Diámetro mínimo del sifón y de la derivación, en mm		
	Clase			Clase		
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>
Lavabo .....	1	2	2	35	35	35
Retrete .....	4	5	6	80	80	80
Baño .....	3	4	4	40	50	50
Bidé .....	2	2	2	35	35	35
Un cuarto de baño completo (lavabo, retrete, baño y bidé) .....	7	»	»	80	80	80
Ducha .....	2	3	3	40	50	50
Retrete a la turca .....	»	8	8	»	100	100
Urinario suspendido .....	2	2	2	40	40	40
» vertical .....	»	4	4	»	50	50
Fregadero en viviendas .....	3	»	»	40	»	»
» restaurante (vajilla) .....	»	8	8	»	80	80
» » (alimentos) .....	»	6	6	»	50	50
Lavadero (ropas) .....	3	3	»	40	40	»
» (laboratorio) .....	2	»	»	40	»	»
Lavapiés .....	2	2	»	40	40	»
Vertedero .....	8	»	»	100	»	»
Fuente de beber .....	1	1	1	35	35	35
Sumidero corriente .....	3	3	3	50	50	50
Recogida de agua de lluvia:						
a) Caída máx., 10 cm./hora; cada 17 m. <sup>2</sup> de área .....	1	»	»	»	»	»
b) Caída máx., 20 cm./hora; cada 8,5 m. <sup>2</sup> de área .....	1	»	»	»	»	»

Cuando una derivación o ramal sirve a varios aparatos se llama derivación en colector y no se podrá emplear el diámetro mínimo recomendado en la tabla anterior, sino el que aparece en la tabla IV.5 dado en función del diámetro y de las unidades de descarga que recoge.

TABLA IV.5

## DIAMETRO DE LAS DERIVACIONES DE COLECTOR

Diámetro de la derivación en colector, en mm.	MÁXIMO NÚMERO DE UNIDADES DE DESCARGA		
	Pendiente: 1/100	Pendiente: 2/100	Pendiente: 4/100
35 .....	1	1	1
40 .....	2	2	2
50 .....	5	6	8
70 (sin retrete) .....	12	15	18
80 (sin retrete) .....	24	27	36
80 (sin más de 2 retretes) .....	15	18	21
100 .....	84	96	114
125 .....	180	234	280
150 .....	330	440	580
200 .....	870	1.150	1.680
250 .....	1.740	2.500	3.600
300 .....	3.000	4.200	6.500
350 .....	6.000	8.500	13.500

NOTA. El diámetro mínimo de una derivación que recoge dos retretes, será de 80 mm; si recoge algún retrete a la turca o vertedero, será de 100 mm. Si la derivación tiene inclinación de 45° más, el diámetro se calcula como para columnas verticales.

Para el cálculo de las columnas de aguas negras se utiliza la tabla IV.6, en la que se tendrá en cuenta el total de unidades de descarga de la columna y el total de unidades por cada piso. La misma tabla se emplea para el diámetro de las columnas de aguas pluviales, dado en función de la proyección horizontal del área de influencia.

TABLA IV.6

DIAMETROS DE COLUMNAS PARA AGUAS NEGRAS Y PARA AGUAS PLUVIALES

Diámetro de la columna — <i>Millímetros</i>	COLUMNAS DE AGUAS SUCIAS (Solamente)			COLUMNAS DE AGUA DE LLUVIA (Solamente)	Diámetro de la columna — <i>Millímetros</i>
	MAXIMO NUMERO DE UNIDADES		Máxima longitud de la columna	Área de cubierta (Proyección horizontal) — <i>Metros cuadrados</i>	
	En cada planta	En toda la columna			
40	3	8	18	Hasta 8	40
50	8	18	27	9 a 25	50
70	20	36	31	26 a 75	70
80	45	72	64	76 a 170	80
100	190	384	91	171 a 335	100
125	350	1.020	119	336 a 500	125
150	540	2.070	153	501 a 1.000	150
200	1.200	5.400	225	—	200

Por último se presentan dos tablas para el cálculo de los diámetros de canalones y para el de colectores de aguas negras y de aguas pluviales.

TABLA IV.7

DIAMETRO DE CANALONES

Diámetro del canalón — <i>Millímetros</i>	(Superficie de cubierta. Proyección horizontal) — <i>Metros cuadrados</i>
80	Hasta 8
100	9 a 25
100	26 a 75
125	76 a 100
150	171 a 335
200	336 a 500
250	501 a 1.000

TABLA IV.8

DIAMETROS DE COLECTORES DE AGUAS NEGRAS Y DE  
COLECTORES DE AGUAS PLUVIALES

Diámetro del colector — Milímetros	COLECTORES DE AGUAS SUCIAS (Solamente)			COLECTORES DE AGUAS PLUVIALES (Solamente)			Diámetro del colector — Milímetros
	MAXIMO NUMERO DE UNIDADES DE DESCARGA			MAXIMA SUPERFICIE RECOGIDA — Metros cuadrados			
	Pendiente 1 ‰	Pendiente 2 ‰	Pendiente 4 ‰	Pendiente 1 ‰	Pendiente 2 ‰	Pendiente 4 ‰	
35	1	1	1	8	12	17	35
40	2	2	3	13	20	27	40
50	7	9	12	28	41	58	50
70	17	21	27	50	74	102	70
80	27	36	48	80	116	163	80
100	114	150	210	173	246	352	100
125	270	370	540	307	437	618	125
150	510	720	1.050	488	697	995	150
200	1.290	1.860	2.640	1.023	1.488	2.065	200
250	2.520	3.600	5.250	1.814	2.557	3.710	250
300	4.390	6.300	9.300	3.022	4.231	6.090	300

## IV.4 METODO DE LAS NORMAS FRANCESAS

El cuadro 4.42 de la norma francesa NF P 41-202, indica los diámetros mínimos para el sifón de los diferentes aparatos sanitarios (véase la tabla IV.9) é implícitamente establece los diámetros de cada ramal, al tomarse en cuenta el artículo 2.21 de la misma norma, que dice: *El diámetro de los ramales de desagüe debe ser por lo menos igual al de los sifones correspondientes.*



#### IV.5 EVALUACION DEL METODO OPTIMO

Para la evaluación de los tres métodos expuestos se detalla en seguida una serie de puntos que saltan a la vista y que permiten formar un criterio para la elección.

1. Lo primero que se observa en los tres métodos es que existe poca diferencia en los diámetros presentados y en la secuencia para asignar dichos diámetros a las conducciones para el desagüe.
2. El método expuesto en el código de los Estados Unidos de Norteamérica trata de fundamentar el porqué la teoría no se puede llevar a la práctica. Entre otras cosas, porque no se cumplen para los líquidos, dentro de las tuberías, las leyes que se aplican a la *caída libre de sólidos* y además porque la fricción entre los fluidos de deshecho y las paredes interiores de la tubería, toma en cuenta factores que todavía no se estudian con profundidad.
3. Angelo Gallizio comenta que el agua se mezcla con el aire desde el momento que empieza a caer, razón por la cual no se cumplen las propiedades de la hidráulica en cuanto a conducción de líquidos.
4. Estas razones, expuestas en los dos incisos anteriores, les permiten fijar los diámetros de las tuberías únicamente, en base a los resultados de la experiencia.
5. Las normas francesas no exponen criterio alguno que sirva de fundamento en la exposición de su método.
6. De los anteriores comentarios se infiere que los métodos caen dentro de los empíricos y, por lo mismo, ninguno tiene base en la investigación científica.

Tomando en cuenta que el propio Gallizio hace referencia acerca de la influencia norteamericana de que fue objeto, dicha influencia persiste incluso en el desarrollo de este tercer pro-

cedimiento. Además, si se considera que no se tienen datos para pensar que el método propuesto por los franceses está sustentado en bases firmes, se sugiere el uso del método implícito en el código norteamericano para la determinación de los diámetros de las tuberías del desagüe de los fluidos de deshecho.

#### IV.6 APLICACION DE LAS COMPUTADORAS

En el inciso IV.1 de este capítulo se comentó que no hay necesidad de conocer un gasto de diseño y dado que no se puede dotar a una computadora de juicios subjetivos o de experiencias, que además le permitan efectuar cálculos, se decidió omitir el inciso correspondiente a la aplicación de las computadoras al diseño de las conducciones de desagüe.

## V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dado que el carácter de este trabajo es de investigación más que de aplicación, a lo largo de su desarrollo se efectuaron algunas conclusiones, como por ejemplo las que se hicieron para fundamentar alguna decisión tomada; asimismo se emitieron recomendaciones, como en el uso de algún método para el diseño. A éstas se agregan las que a continuación se detallan.

### V.1 CONCLUSIONES

Con respecto al resumen de los métodos para la determinación - del gasto de diseño de una instalación hidráulica expuesto en la tabla III.1, caben algunos otros comentarios que pueden ser interesantes. Por ejemplo, se observa que los primeros inten-

tos para establecer un diseño con base en la teoría de probabilidades fueron los del Dr. Roy B. Hunter, desde 1924, y que desde entonces hasta 1940 en que aparece su último estudio, únicamente se habían publicado métodos empíricos. Es fácil explicarse, como ya se ha hecho resaltar, la influencia notable en el desarrollo de los subsecuentes métodos probabilísticos (a excepción del método alemán, que también fue publicado en 1940).

En lo referente a los métodos para la determinación del gasto de diseño en las instalaciones sanitarias, no existe ninguna aplicación de la teoría de probabilidades ni de alguna fórmula de la Hidráulica o en particular de la dinámica de los fluidos.

En el Reglamento de Ingeniería Sanitaria relativo a Edificios, de la República Mexicana, no se cubre totalmente el aspecto del diseño de las instalaciones de plomería de un edificio, ya sea para el cálculo de un gasto de diseño o para la determinación de diámetros en las tuberías; únicamente fija diámetros mínimos para algunas partes de dicha instalación; por ejemplo, en el artículo 27 del capítulo II, dice que debe existir un tubo de 7.5 cm de diámetro mínimo cada 100 m<sup>2</sup>, como bajante pluvial. En el artículo 75 del capítulo VI menciona que no se pueden colocar tubos para albañal menores a 15 cm de diámetro. El artículo 79, del mismo capítulo, se refiere a los tubos ramales cuyos diámetros no deben ser menores a 3.2 cm y tampoco menores al diámetro del sifón. Por último, se alude al artículo 97 del VI capítulo en el que especifica un diámetro mínimo de 3.2 cm para los tubos ventiladores.

Si se siguieran las indicaciones del reglamento, algunas partes de la instalación quedarían sin asignárseles su respectivo diámetro; además, dicho reglamento no especifica los criterios que fueron tomados para fijar los diámetros mínimos, mismos que

hubieran servido de base para proponer los diámetros de los tramos de instalación no cubiertos por tal reglamento.

## V.2 RECOMENDACIONES

La recomendación que, a juicio personal, es la más importante, se refiere al Reglamento de Ingeniería Sanitaria relativo a -- Edificios.

Se propone a las autoridades del Departamento del Distrito Federal, así como a los funcionarios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, la formación de una comisión integrada tanto por juristas como por especialistas en la materia, para que revisen, complementen, y en su caso modifiquen dicho reglamento, de tal forma que cubra todos los aspectos del diseño de una instalación de plomería, desde el anteproyecto y proyecto hasta la colocación tanto de la tubería como de los aparatos sanitarios, incluyendo gastos de diseño, diámetros, controles de calidad para los diversos materiales utilizados, etc.

Un aspecto interesante sería el de establecer criterios en la aplicación de tarifas para la colocación y mantenimiento de las instalaciones o de algún equipo adicional, ya que la mano de obra de un *plomero*, además de ser muy solicitada, es cotizada por ellos mismos sin juicio alguno. Se podría lograr un control al respecto, implementando un registro o un permiso de alguna institución, que certifique cuándo una persona está capacitada para efectuar tales trabajos.

## A P E N D I C E A

### A TABLAS Y GRAFICOS USADOS PARA EL SEGUNDO PROCEDIMIENTO DEL METODO AMERICANO

Se presentan a continuación, en primer término, las tres tablas que Angello Gallizio emplea para resolver con mayor rapidez la ecuación II.8; y en segundo término, las seis *curvas características de simultaneidad* construidas por Rodríguez-Avial, en las que modifica ligeramente los parámetros de las frecuencias y utilizando las tablas de Gallizio.

TABLA A.1  
 $\text{Log } A^{r-1}$

«A»	r Número de unidades sobrepuestas												
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
1,5	0,176	0,352	0,528	0,704	0,880	1,057	1,233	1,408	1,585	1,937	2,289	2,641	2,944
2	0,301	0,602	0,903	1,204	1,505	1,806	2,107	2,408	2,709	3,311	3,913	4,515	5,118
3	0,477	0,954	1,431	1,908	2,386	2,863	3,340	3,817	4,294	5,248	6,203	7,157	8,111
4	0,602	1,204	1,806	2,408	3,010	3,612	4,214	4,816	5,419	6,623	7,827	9,031	10,235
5	0,699	1,398	2,097	2,796	3,495	4,194	4,893	5,592	6,291	7,689	9,087	10,485	11,882
6	0,778	1,556	2,334	3,113	3,891	4,669	5,447	6,225	7,003	8,560	10,116	11,672	13,229
8	0,903	1,806	2,709	3,612	4,515	5,419	6,322	7,225	8,128	9,934	11,740	13,546	15,353
10	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	11,000	13,000	15,000	17,000
12	1,079	2,158	3,238	4,317	5,396	6,475	7,554	8,633	9,713	11,871	14,029	16,188	18,346
15	1,176	2,352	3,528	4,704	5,880	7,057	8,233	9,409	10,585	12,937	15,289	17,641	19,994
17	1,230	2,461	3,691	4,922	6,152	7,383	8,613	9,844	11,074	13,535	15,996	18,457	20,918
20	1,301	2,602	3,903	5,204	6,505	7,806	9,107	10,408	11,709	14,311	16,913	19,515	22,118
25	1,398	2,796	4,194	5,592	6,990	8,388	9,786	11,184	12,581	15,377	18,173	20,969	23,765
30	1,477	2,954	4,431	5,908	7,386	8,863	10,340	11,817	13,294	16,248	19,203	22,157	25,111
35	1,544	3,088	4,632	6,176	7,720	9,264	10,808	12,353	13,897	16,985	20,073	23,161	26,249
40	1,602	3,204	4,806	6,408	8,010	9,612	11,214	12,816	14,419	17,623	20,827	24,031	27,235
50	1,699	3,398	5,097	6,796	8,495	10,194	11,893	13,592	15,291	18,689	22,087	25,485	28,882
60	1,778	3,556	5,334	7,113	8,891	10,669	12,447	14,225	16,003	19,560	23,116	26,672	30,229
70	1,845	3,690	5,535	7,380	9,226	11,071	12,916	14,761	16,606	20,296	23,986	27,677	31,367
80	1,903	3,806	5,709	7,612	9,515	11,419	13,322	15,225	17,128	20,934	24,740	28,546	32,353
90	1,954	3,908	5,863	7,817	9,771	11,725	13,680	15,634	17,588	21,497	25,405	29,314	33,222
100	2,000	4,000	6,000	8,000	10,000	12,000	14,000	16,000	18,000	22,000	26,000	30,000	34,000
110	2,041	4,083	6,124	8,166	10,207	12,248	14,290	16,331	18,373	22,455	26,538	30,621	34,704
120	2,079	4,158	6,238	8,317	10,396	12,475	14,554	16,633	18,713	22,871	27,029	31,188	35,346
130	2,114	4,228	6,342	8,456	10,570	12,684	14,798	16,912	19,025	23,253	27,481	31,709	35,937
140	2,146	4,292	6,438	8,585	10,731	12,877	15,023	17,169	19,315	23,607	27,900	32,192	36,484
150	2,176	4,352	6,528	8,704	10,880	13,057	15,233	17,409	19,585	23,937	28,289	32,641	36,994
160	2,204	4,408	6,612	8,816	11,021	13,225	15,429	17,633	19,837	24,245	28,654	33,062	37,470
170	2,230	4,461	6,691	8,922	11,152	13,383	15,613	17,844	20,074	24,535	28,996	33,457	37,918
180	2,255	4,511	6,766	9,021	11,276	13,532	15,787	18,042	20,297	24,808	29,319	33,829	38,340
200	2,301	4,602	6,903	9,204	11,505	13,806	16,107	18,408	20,709	25,311	29,913	34,515	39,118
220	2,342	4,685	7,027	9,370	11,712	14,055	16,397	18,739	21,082	25,767	30,451	35,136	39,821
240	2,380	4,760	7,141	9,521	11,901	14,281	16,661	19,042	21,422	26,182	30,943	35,703	40,464
260	2,415	4,830	7,245	9,660	12,075	14,490	16,905	19,320	21,735	26,565	31,395	36,225	41,054
280	2,447	4,894	7,341	9,789	12,236	14,683	17,130	19,577	22,024	26,919	31,813	36,707	41,602
300	2,477	4,954	7,431	9,903	12,386	14,863	17,340	19,817	22,294	27,248	32,203	37,157	42,111

TABLA A.1

Log A<sup>r-1</sup>

continúa...

Número de unidades sobrepuestas													«A»
20	25	30	40	50	75	100	150	200	300	400	500	600	
3,346	4,226	5,107	6,868	8,628	13,031	17,433	26,237	35,042	52,651	70,260	87,969	105,476	1,5
5,720	7,225	8,730	11,740	14,750	22,276	29,802	44,853	59,905	90,008	120,111	150,214	180,317	2
9,065	11,451	13,836	18,608	23,379	35,307	47,235	71,091	94,947	142,659	190,371	238,083	285,795	3
11,439	14,449	17,460	23,480	29,501	44,552	59,604	89,707	119,810	180,016	240,222	300,428	—	4
13,280	16,775	20,270	27,260	34,249	51,724	69,198	104,147	139,095	208,992	278,859	—	—	5
14,785	18,676	22,566	30,348	38,129	57,583	77,037	115,944	154,852	232,667	—	—	—	6
17,159	21,674	26,190	35,221	44,251	66,828	89,406	134,560	179,715	270,024	—	—	—	8
19,000	24,000	29,000	39,000	49,000	74,000	99,000	149,000	199,000	299,000	—	—	—	10
20,504	25,900	31,296	42,088	52,880	79,859	106,839	160,798	214,757	—	—	—	—	12
22,346	28,226	34,107	45,868	57,628	87,031	116,433	175,237	234,042	—	—	—	—	15
23,379	29,531	35,683	47,990	60,292	91,053	121,815	183,337	244,860	—	—	—	—	17
24,720	31,225	37,730	50,740	63,750	96,276	128,802	193,853	258,905	—	—	—	—	20
26,561	33,551	40,540	54,520	68,499	103,448	138,396	208,293	278,190	—	—	—	—	25
28,065	35,451	42,836	57,608	72,379	109,307	146,235	220,091	293,947	—	—	—	—	30
29,337	37,058	44,778	60,219	75,659	114,261	152,863	230,066	307,270	—	—	—	—	35
30,439	38,449	46,460	62,480	78,501	118,552	158,604	238,707	—	—	—	—	—	40
32,280	40,775	49,270	66,260	83,249	125,724	168,198	253,147	—	—	—	—	—	50
33,785	42,675	51,566	69,348	87,129	131,583	176,037	264,944	—	—	—	—	—	60
35,057	44,282	53,503	71,959	90,410	136,537	182,665	274,920	—	—	—	—	—	70
36,159	45,674	55,190	74,221	93,251	140,828	188,406	283,560	—	—	—	—	—	80
37,131	46,902	56,673	76,215	95,758	144,614	193,470	291,182	—	—	—	—	—	90
38,000	48,000	58,000	78,000	98,000	148,000	198,000	298,000	—	—	—	—	—	100
38,786	48,993	59,200	79,614	100,028	151,063	202,098	—	—	—	—	—	—	110
39,504	49,900	60,295	81,088	101,880	153,859	205,339	—	—	—	—	—	—	120
40,165	50,734	61,304	82,444	103,583	156,432	209,280	—	—	—	—	—	—	130
40,776	51,507	62,233	83,699	105,160	158,814	212,467	—	—	—	—	—	—	140
41,346	52,226	63,107	84,868	106,628	161,031	215,433	—	—	—	—	—	—	150
41,878	52,899	63,919	85,961	108,002	163,105	218,208	—	—	—	—	—	—	160
43,379	53,531	64,683	86,990	109,292	165,053	220,815	—	—	—	—	—	—	170
42,850	54,126	65,403	87,056	110,508	166,890	223,272	—	—	—	—	—	—	180
43,720	55,225	66,730	89,740	112,750	170,276	227,802	—	—	—	—	—	—	200
44,506	56,218	67,930	91,354	114,779	173,339	231,900	—	—	—	—	—	—	220
45,224	57,125	69,026	92,828	116,630	176,136	235,641	—	—	—	—	—	—	240
45,884	57,959	70,035	94,184	118,334	178,708	239,082	—	—	—	—	—	—	260
46,496	58,732	70,968	95,439	119,911	181,090	242,269	—	—	—	—	—	—	280
47,065	59,451	71,836	96,608	121,379	183,307	245,235	—	—	—	—	—	—	300

Intervalo entre dos sucesivas aberturas «i»	h Promedio de horas punta por día										
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16
3	1,301	1,602	1,778	1,903	2,000	2,079	2,204	2,301	2,380	2,447	2,505
4	1,176	1,477	1,653	1,778	1,875	1,954	2,079	2,176	2,255	2,322	2,380
5	1,079	1,380	1,556	1,681	1,778	1,857	1,982	2,079	2,144	2,225	2,283
6	1,000	1,301	1,477	1,602	1,699	1,778	1,903	2,000	2,079	2,146	2,204
7	0,934	1,230	1,415	1,531	1,633	1,716	1,839	1,934	2,000	2,079	2,137
8	0,875	1,176	1,342	1,477	1,580	1,653	1,778	1,876	1,954	2,021	2,079
9	0,826	1,114	1,301	1,431	1,519	1,602	1,724	1,826	1,903	1,970	2,029
10	0,778	1,079	1,255	1,380	1,477	1,556	1,681	1,778	1,857	1,924	1,982
12	0,699	1,000	1,176	1,301	1,398	1,477	1,602	1,699	1,778	1,845	1,903
14	0,633	0,860	1,114	1,230	1,322	1,415	1,351	1,633	1,708	1,778	1,836
16	0,580	0,875	1,041	1,176	1,279	1,362	1,477	1,580	1,653	1,720	1,778
18	0,519	0,826	1,000	1,114	1,230	1,301	1,431	1,519	1,602	1,669	1,727
20	0,477	0,778	0,954	1,079	1,176	1,255	1,380	1,477	1,556	1,623	1,681
25	0,380	0,681	0,857	0,982	1,079	1,158	1,283	1,380	1,459	1,526	1,584
30	0,301	0,602	0,778	0,903	1,000	1,079	1,204	1,301	1,380	1,447	1,505

TABLA A.2  
Log B

Número total de unidades «n»	Número de unidades sobrepuestas									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
3	0,477	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,778	0,602	0,000	—	—	—	—	—	—	—
5	1,000	1,000	0,699	0,000	—	—	—	—	—	—
6	1,176	1,301	1,176	0,778	0,000	—	—	—	—	—
7	1,322	1,544	1,544	1,322	0,845	0,000	—	—	—	—
8	1,477	1,748	1,845	1,748	1,447	0,903	0,000	—	—	—
9	1,556	1,924	2,100	2,100	1,924	1,556	0,954	0,000	—	—
10	1,653	2,079	2,322	2,401	2,322	2,079	1,653	1,000	0,000	—
12	1,820	2,342	2,695	2,899	2,966	2,899	2,695	2,342	1,820	0,000
14	1,959	2,561	3,000	3,301	3,478	3,536	3,478	3,301	3,000	1,959
16	2,079	2,748	3,260	3,640	3,904	4,058	4,110	4,058	3,904	3,260
18	2,185	2,912	3,486	3,933	4,269	4,503	4,641	4,687	4,641	4,269
20	2,279	3,057	3,685	4,190	4,588	4,889	5,100	5,225	5,267	5,100
25	2,477	3,362	4,102	4,725	5,248	5,682	6,034	6,310	6,514	6,716
30	2,638	3,609	4,438	5,154	5,774	6,309	6,767	7,156	7,478	7,937
35	2,775	3,816	4,719	5,511	6,210	6,828	7,372	7,849	8,264	8,921
40	2,892	3,995	4,961	5,818	6,584	7,271	7,886	8,437	8,928	9,747
50	3,088	4,292	5,362	6,326	7,201	7,999	8,730	9,400	10,012	11,084
75	3,443	4,829	6,085	7,237	8,304	9,230	10,227	11,099	11,919	13,417
100	3,695	5,209	6,593	7,877	9,076	10,204	11,270	12,279	13,238	15,021
150	4,048	5,741	7,307	8,772	10,155	11,469	12,721	13,919	15,068	17,237
200	4,299	6,119	7,811	9,404	10,916	12,359	13,741	15,070	16,351	18,786

(sigue)

TABLA A.3  
Log C<sub>n</sub>  
I

continúa...

TABLA A.3  
Log C<sub>r</sub><sup>n</sup>

Número total de « n »	Número de unidades sobrepuestas															
	14	16	18	20	25	30	40	50	75	100	150	200	300	400	500	600
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	2,079	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	3,486	2,185	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	4,588	3,685	2,279	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	6,649	6,310	5,682	4,725	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	8,163	8,163	7,937	7,478	5,154	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	9,365	9,609	9,657	9,512	8,264	5,511	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	10,366	10,798	11,055	11,139	10,604	8,928	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	11,972	12,692	13,257	13,673	14,102	13,673	10,012	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—
75	14,749	15,932	16,981	17,905	19,721	20,893	21,469	19,721	0,000	—	—	—	—	—	—	—
100	16,645	18,129	19,487	20,729	23,385	25,468	28,138	29,004	23,385	0,000	—	—	—	—	—	—
150	19,253	21,137	22,902	24,560	28,292	31,508	36,645	40,304	43,968	40,304	0,000	—	—	—	—	—
200	21,072	23,228	25,270	27,208	31,655	35,612	42,312	47,657	56,228	58,957	47,657	0,000	—	—	—	—
300	23,606	26,137	28,556	30,875	36,291	41,239	49,991	57,493	71,991	81,619	88,972	81,619	0,000	—	—	—
400	25,383	28,180	30,862	33,445	39,528	45,154	55,295	64,231	82,540	96,351	113,540	119,012	96,351	0,000	—	—
500	26,766	29,758	32,641	35,426	42,019	48,160	59,351	69,365	90,488	107,320	137,237	144,703	144,703	107,320	0,000	—
700	28,834	32,126	35,310	38,397	45,749	52,656	65,399	76,993	102,202	123,312	156,518	180,399	206,090	206,090	180,399	—
1.000	31,020	34,627	38,127	41,531	49,787	57,486	71,845	85,076	114,469	139,905	182,228	215,921	263,835	290,796	299,530	290,796
1.500	—	—	—	—	—	62,732	78,904	93,963	127,995	158,173	210,308	254,286	324,394	376,148	412,992	436,853

FIGURA A.1

Viviendas. Curva característica de simultaneidad para baños:  $f = 10$  min

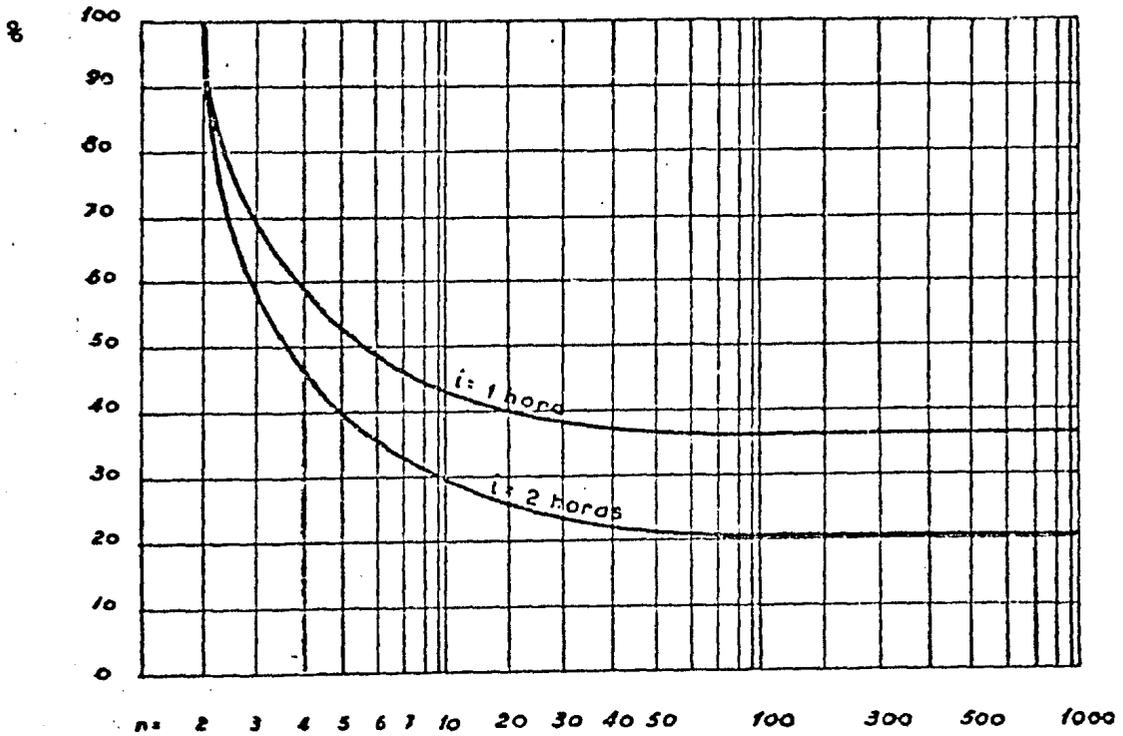


FIGURA A.2

Viviendas. Curva de simultaneidad para retretes con depósito, bidés y lavabos:  $f = 2$  min

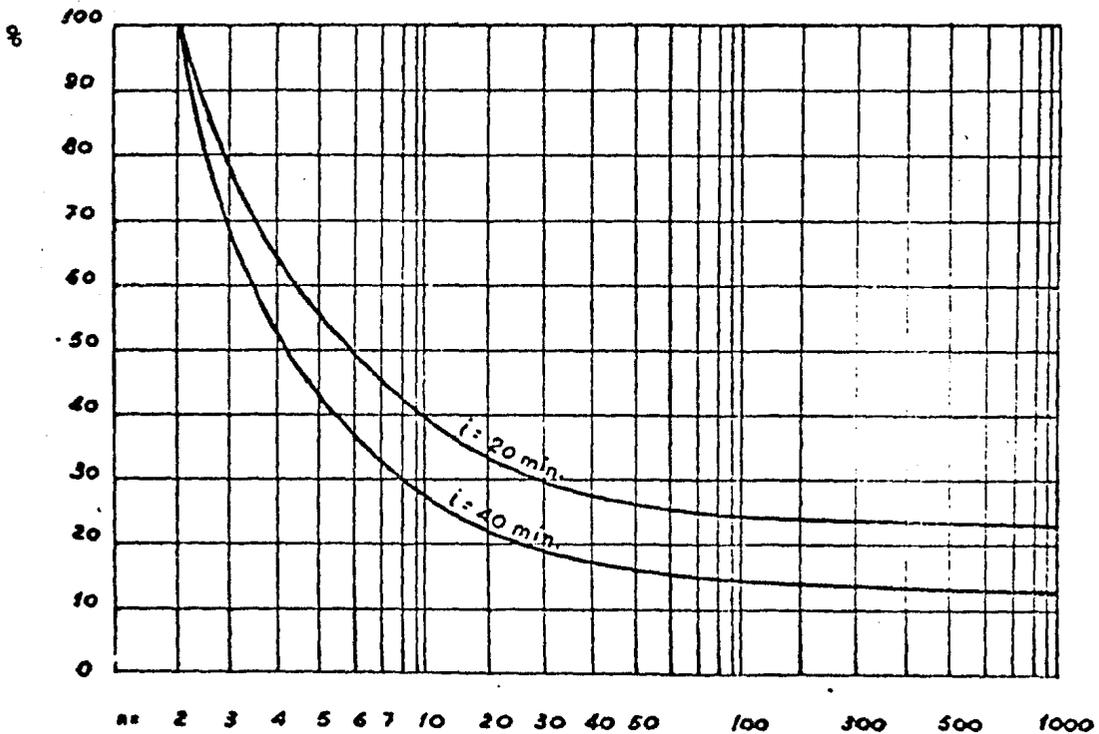


FIGURA A.3

Viviendas. Curva de simultaneidad para retretes con fluxómetro:  $f = 8$  seg

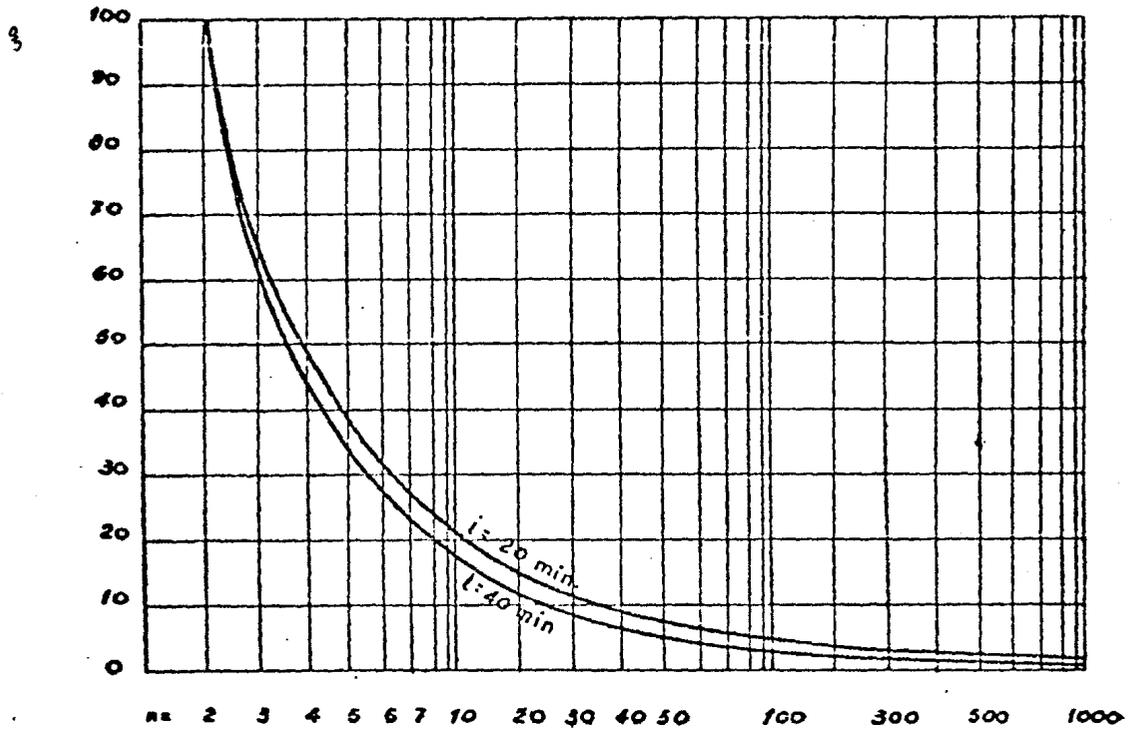


FIGURA A.4

Oficinas y Análogos. Curva de simultaneidad para lavabos:  $f = 1$  min

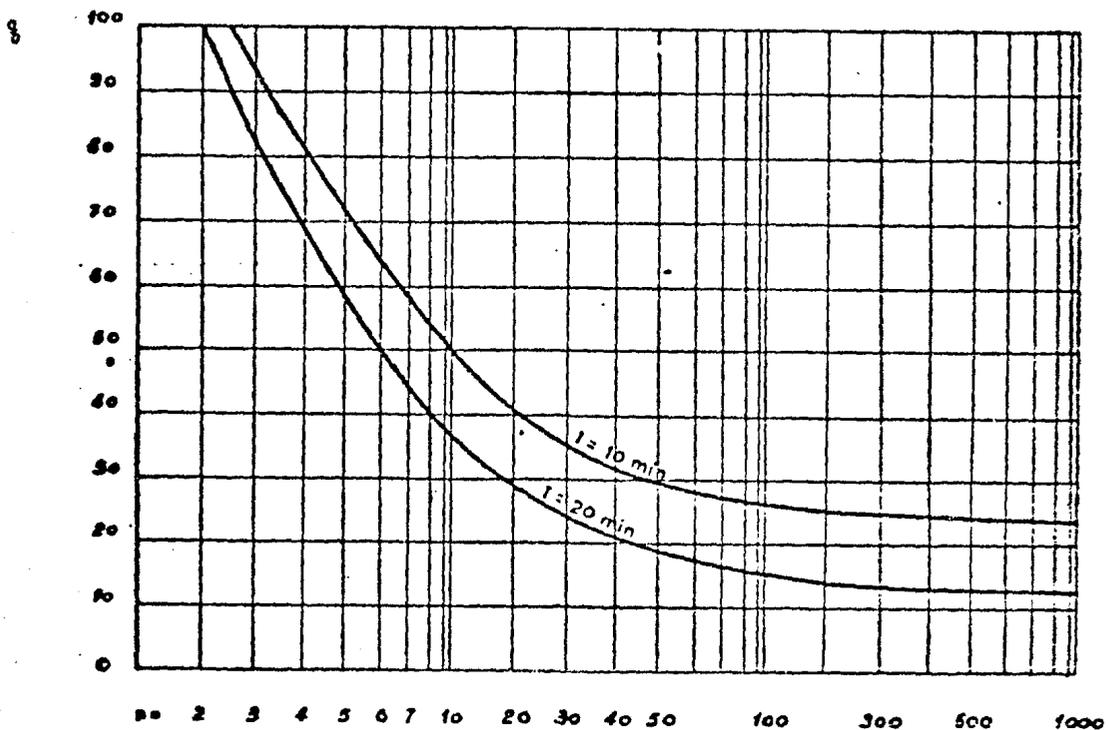


FIGURA A.5

Oficinas y Análogos. Curva de simultaneidad para retretes con depósito  
 $f = 2 \text{ min}$

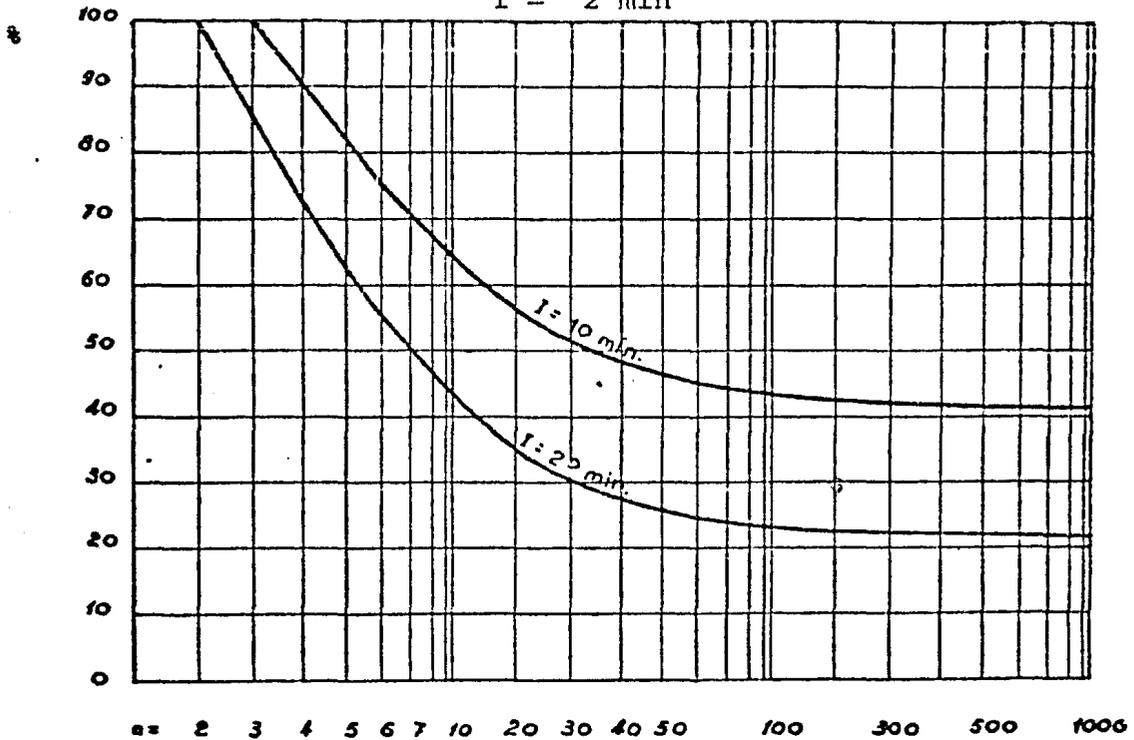
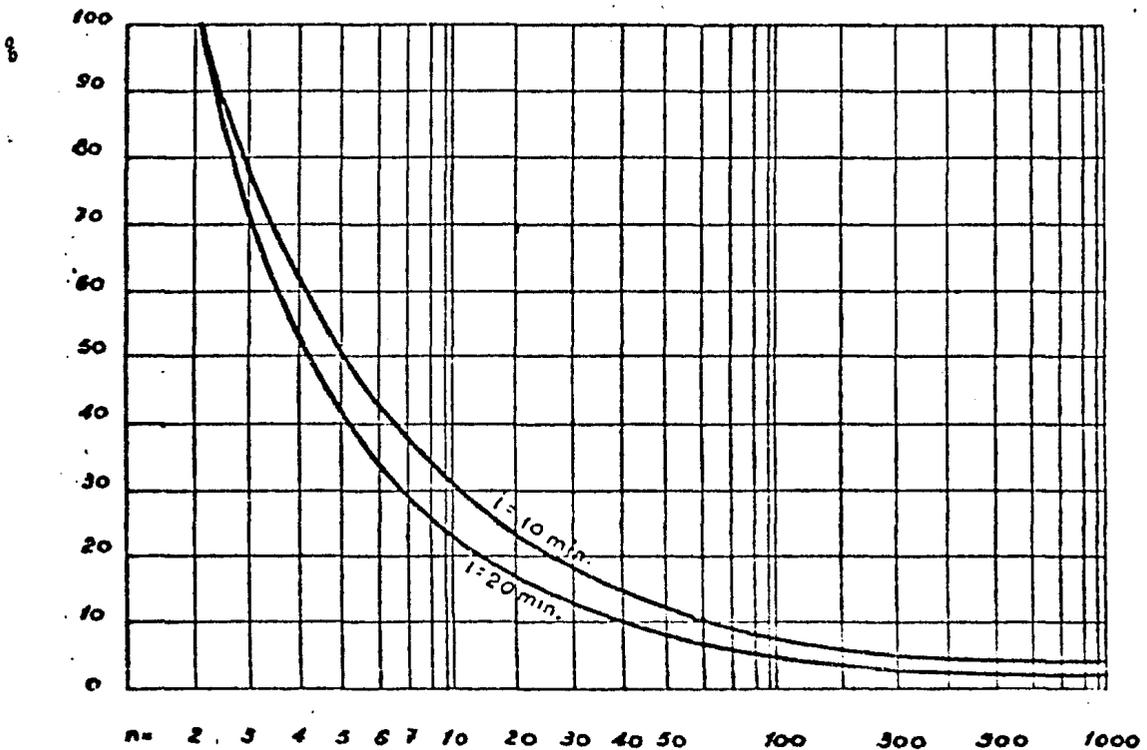


FIGURA A.6

Oficinas y Análogos. Curva de simultaneidad para retretes con fluxómetro



## A P E N D I C E B

### CALCULO DE LAS ECUACIONES DEL GASTO DE DISEÑO PARA UN SISTEMA MIXTO

Para la obtención de la primera y segunda funciones que relacionen, la suma de unidades de consumo-mueble de todos los aparatos de una instalación hidráulica, con el gasto de diseño que deba transportar esa instalación, se usarán las curvas 1 y 2 presentadas en la figura III.3 con un rango de 10 a 750 unidades de consumo-mueble. En la tercer función, este rango deberá ser mayor o igual que 750 unidades de consumo-mueble y se utilizará la curva de la figura III.2

Analizando las tres curvas, se observa que cada una de ellas - tiende a ser una línea recta, por lo tanto para calcular la ecuación de cada una, se puede utilizar el método de los mínimos cuadrados, el cual se basa en que la suma de los errores al cuadrado es mínima.

TABLA B.1

PRIMER ECUACION. PARA SISTEMAS EN LOS QUE PREDOMINAN LOS FLUXOMETROS

N	$x_i$ UCM <sub>1</sub>	$y_i$ Qd <sub>1</sub>			
1	10	28	$\sum x_i$	=	2,820.0
2	20	36	$\sum x_i^2$	=	1,072,600.0
3	40	47			
4	60	56			
5	80	63	$\sum y_i$	=	1,230.0
6	100	69	$\sum y_i^2$	=	121,834.0
7	120	74			
8	140	79			
9	160	83	$\sum x_i y_i$	=	335,020.0
10	180	88	N	=	15.0
11	200	92			
12	220	96			
13	240	99	$\bar{x}$	=	188.0
14	500	142	$\bar{y}$	=	82.0
15	750	178			

$S_{xx} = N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$	$S_{xy} = N \sum x_i y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i$
$S_{xx} = 8,136,600$	$S_{xy} = 1,556,700.0$
$S_{yy} = N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2$	
$S_{yy} = 314,610.0$	

$$y = a + bx$$

$$b = S_{xy}/S_{xx} = 0.1913$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 46.0317$$

Pero:  $x = \text{UCM}_1 = \text{Unidades de consumo-mueble}$   
 $y = \text{Qd}_1 = \text{Gasto de dise\u00f1o}$

entonces;

$$\text{Qd}_1 = 46.0317 + 0.1913 \text{ UCM}_1$$

TABLA B.2

SEGUNDA ECUACION. PARA SISTEMAS EN LOS QUE PREDOMINAN APARATOS DE DEPOSITO

N	$x_i$ UCM <sub>2</sub>	$y_i$ Qd <sub>2</sub>			
1	10	8	$\Sigma x_i$	=	2,820.0
2	20	14	$\Sigma x_i^2$	=	1,072,600.0
3	40	25			
4	60	33			
5	80	40	$\Sigma y_i$	=	896.0
6	100	45	$\Sigma y_i^2$	=	78,294.0
7	120	50			
8	140	54			
9	160	58	$\Sigma x_i y_i$	=	283,190.0
10	180	62	N	=	15.0
11	200	66			
12	220	69			
13	240	73	$\bar{x}$	=	188.0
14	500	128	$\bar{y}$	=	59.733
15	750	171			

$$S_{xx} = N \Sigma x_i^2 - (\Sigma x_i)^2$$

$$S_{xx} = 8,136,600.0$$

$$S_{xy} = N \Sigma x_i y_i - \Sigma x_i \cdot \Sigma y_i$$

$$S_{xy} = 1,721,130.0$$

$$S_{yy} = N \Sigma y_i^2 - (\Sigma y_i)^2$$

$$S_{yy} = 371,594.0$$

$$Y = a + bX$$

$$b = S_{xy}/S_{xx} = 0.2215$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 19.9658$$

Pero:  $x = \text{UCM}_2 = \text{Unidades de consumo-mueble}$

$y = \text{Qd}_2 = \text{Gasto de dise\~no}$

entonces;  $Qd_2 = 19.9658 + 0.2215 \text{ UCM}_2$

TABLA B.3

TERCER ECUACION. PARA SISTEMAS CON CUALQUIER TIPO DE APARATO

	$x_i$	$y_i$			
N	UCM <sub>3</sub>	Qd <sub>3</sub>			
1	800	183	$\Sigma x_i$	=	28,650.0
2	1,000	208	$\Sigma x_i^2$	=	61,352,500.0
3	1,100	222			
4	1,250	240			
5	1,500	268	$\Sigma y_i$	=	4,711.0
6	1,600	282	$\Sigma y_i^2$	=	1,565,205.0
7	1,750	300			
8	2,000	327			
9	2,100	336	$\Sigma x_i y_i$	=	9,751,050.0
10	2,250	355	N	=	15.0
11	2,400	371			
12	2,500	379			
13	2,650	400	$\bar{x}$	=	1,910.0
14	2,750	408	$\bar{y}$	=	314.0667
15	3,000	432			

$S_{xx} = N \Sigma x_i^2 - (\Sigma x_i)^2$
$S_{xx} = 99,465,000.0$
$S_{xy} = N \Sigma x_i y_i - \Sigma x_i \cdot \Sigma y_i$
$S_{xy} = 11,295,600.0$
$S_{yy} = N \Sigma y_i^2 - (\Sigma y_i)^2$
$S_{yy} = 1,284,554.0$

$$Y = a + bX$$

$$b = S_{xy}/S_{xx} = 0.1136$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 97.1603$$

De igual manera, si:  $x = \text{UCM}_3 = \text{Unidades de consumo-mueble}$

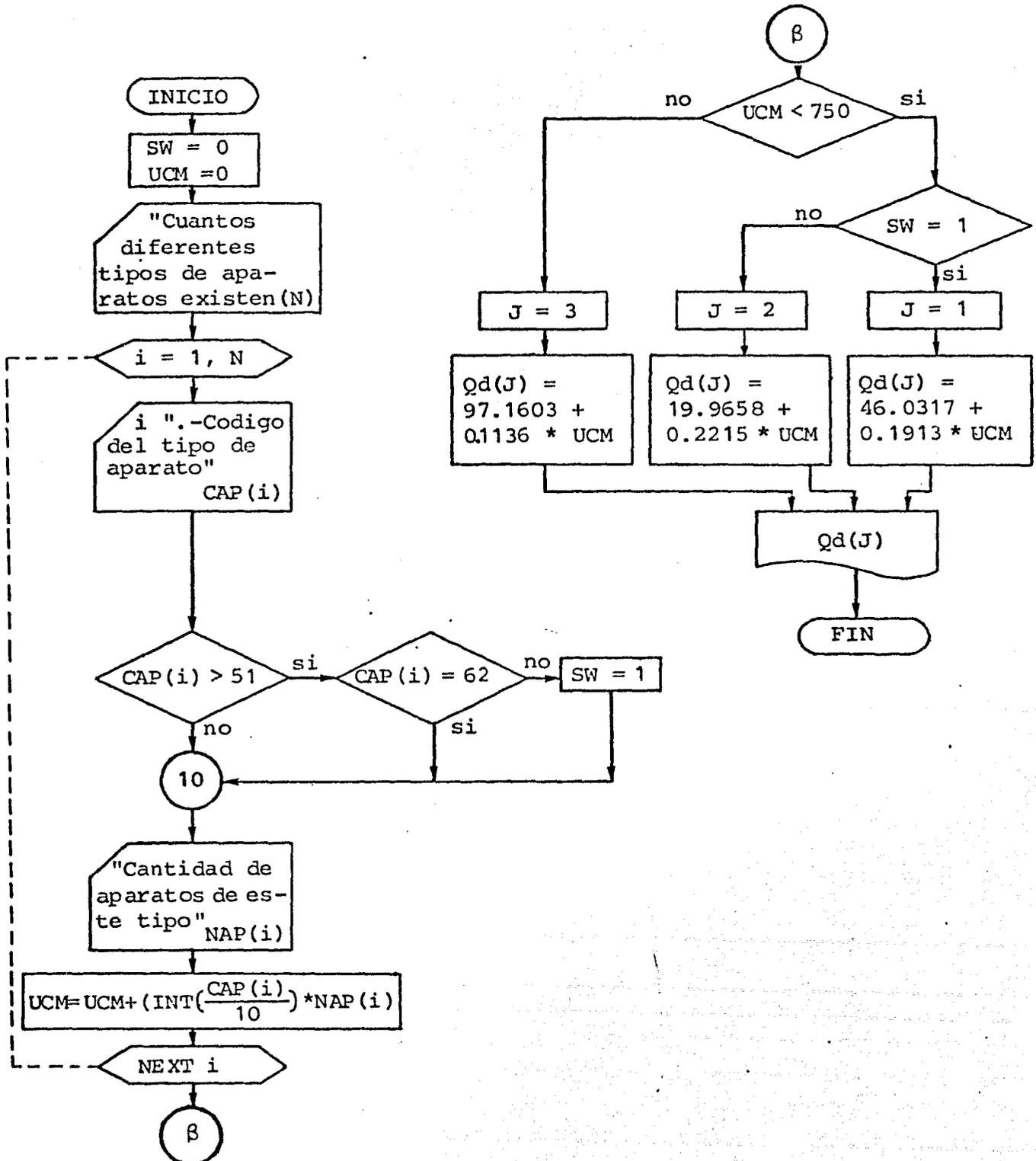
$y = \text{Qd}_3 = \text{Gasto de dise\~no}$

entonces;

$$\text{Qd}_3 = 97.1603 + 0.1136 \text{ UCM}_3$$

FIGURA B.1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DE HUNTER PARA UN SISTEMA MIXTO



## NOTAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) *Reglamento de Ingeniería Sanitaria relativo a Edificios.* Capítulo primero, artículo primero. Publicado en el *Diario oficial* de Mayo 20 de 1964.
- (2) Day, Richard. *Manual práctico de plomería y calefacción.* Compañía Editorial Continental S: A. México, 1982. p. 37.
- (3) Gay, Charles M., Fawcett, Charles de van y otros. *Instalaciones en los edificios.* Ed. Gustavo Gili. Sexta edición.
- (4) Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. *Manual de Plomería.* Relativo a instalación de tuberías, sin página.
- (5) Manas, Vincent T. *National Plumbing Code Handbook.* Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, p. 24-1.
- (6) The Institution of Heating and Ventilating Engineers. *Pipe-sizing Data and Tables for Ducts,* 75 Eaton Place, London S. W. 1, 1946 edition.
- (7) Dawson, F.M. y J.S. Bowman. *Interior Water Supply Piping for Residential Buildings.* University of Wisconsin Engineering Experiment Station Series, *Bulletin 77,* 1933.
- (8) Dawson, F.M. y A.A. Kalinske. *Water-supply piping for the plumbing system,* *Technical Bulletin 3,* National Association of Master Plumbers of the United States, Inc., 1932.
- (9) Kessler, Lewis H. *Hydraulics in Small House Plumbing,* Report of Proceedings. American Society of Sanitary Engineering, 1933, 1934, p. 225.

- (10) Kessler, Lewis H. *Residential Water-supply Piping Design, Materials and Methods*. November, 1946, p. 89.
- (11) Rodríguez-Avial, Mariano. *Instalaciones en los Edificios, Fontanería y Saneamiento*. Editorial Dossat, S.A. Tercera edición. Madrid, 1958. pp. 60 y ss.
- (12) Gallizio, Angelo. *Instalaciones Sanitarias*. Traducción de la sexta edición italiana. Editorial Científico-Médica. Barcelona, 1964. Prefacio, pagina 90 y ss.
- (13) Richtlinien für die Berechnung der Kaltwasserleitungen in Hausanlagen (*Reglas para el cálculo de líneas de distribución de agua fría en edificios*). *Gas-und Wasserfach*, vol.83:29,1940,p.345.
- (14) Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria. Opus Citatus.
- (15) Gallizio, Angelo. Op. Cit. p.98
- (16) Ibidem. p. 100
- (17) Ibid. pp. 102 a 106
- (18) Rodríguez-Avial, Mariano. Op. Cit. pp. 64 y ss.
- (19) Marchetti, Mario. *Impianti interni di distribuzione d'acqua -una applicazione del calcolo della probabilita* (*Instalaciones domesticas de dsitribución de agua -una aplicación de la teoría de probabilidades*), *Memorie e Studi* Instituto di Idraulica e Construzioni Idraulica del Politecnico di Milano, No.69, 1948.
- (20) Bolant, R. *Recherche des débits admissibles dans les canalisations per le calcul des probabilités* (*Investigación sobre flujos permisibles en la red de distribución de agua, por medio de la teoría de probabilidades*). *La Houille blanche*, May-June, 1949, p. 315.

- (21) *Code des conditions minima d'execution des travaux de plomberie et installations sanitaires*. Association Française de Normalisation, 33 rue Notre-Dame-des-Victoires, Paris (2e).
- (22) Wise, A.F.E. y J. Croft. *Investigation of Single-stack Drainage for Multi-Storey Flats*. The Royal Sanitary Institute. Preprint of paper to be represented to the Conference of Engineers and Surveyors. Scarborough Health Congress, April 23, 1954.
- (23) Manas, Vincent T. Op. Cit. p. 24-5.
- (24) *Recommended Minimum Requirements for Plumbing in Dwellings and Similar Buildings*. Reporte final del Subcommittee on plumbing of the Building Code Committee. U.S. Department of Commerce. Bureau of Standards BH2, 1924 (fuera de circulación).
- (25) *Recommended Minimum Requirements for Plumbing*. Reporte del Subcommittee on Plumbing of the Building Code Committee. U.S. Department of Commerce. Bureau of Standards BH13, 1932.
- (26) Hunter, Roy B. *Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems*. National Bureau of Standards Building materials and Structures Report BMS65, 1940.
- (27) Eaton, H.N. y J.L French. *Fixture Unit Ratings As Used in Plumbing System Design*. Housing and Home Finance Agency Housing Research Paper 15, March, 1951.
- (28) Manas, Vincent T. Op. Cit. p. 24-5.
- (29) Hunter, Roy B. Op. Cit. p.8.
- (30) Manas, Vincent T. Op. Cit. p. 24-9.

- (31) *Tablas of Binomial Probability Distribution.* National Bureau of Standards. Applied Mathematics Series 6, 1950.
- (32) *Tablas of Cumulative Probability, ORDP 20-1.* Office of Technical Services. U. S. Department of Commerce.
- (33) Hunter, Roy B. Op. Cit. p. 11
- (34) Thorndike, Francis. *Applications of Poisson's Probability Summation.* Bell System Telephone Journal, vol. 5, p.604, 1926.
- (35) Hunter, Roy B. Op. Cit. p. 13.
- (36) Ibid. p. 15.
- (37) Ibid. pp. 15 y 16.
- (38) Manas, Vincent T. Op. Cit. p. 18-5.
- (39) Gallizio, Angelo. Op. Cit. p. 550.

## BIBLIOGRAFIA

1. Day, Richard. *Manual Práctico de plomería y calefacción*. Compañía Editorial Continental, S.A. México, 1982. 160 pags.
2. Gay, Charles M., Fawcett, Charles de van y otros. *Instalaciones en los edificios*. Editorial Gustavo Gili, S.A. Sexta edición. Barcelona, 1979. 648 páginas.
3. Manas, Vincent T. *National Plumbing Code Handbook*. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York. Primer edición basada en el National Plumbing Code ASA A40.8.
4. Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. *Manual de plomería*. Unica edición. México, 1972.
5. Rodríguez-Avial, Mariano. *Instalaciones en los Edificios, Fontanería y Saneamiento*. Editorial Dossat S.A. Tercera edición. Madrid, 1958. 279 páginas.
6. Gallizio, Angelo. *Instalaciones Sanitarias*. Traducción de la sexta edición italiana. Editorial Científico-Médica. Barcelona, 1964. 575 páginas.
7. Brigaux, Guy y Maurice Garrigou. *Fontanería e instalaciones sanitarias*. Editorial Gustavo Gili, S.A. Tercera edición. Traducción de la sexta edición francesa. Barcelona, 1976. 595 páginas.
8. *Reglamento de Ingeniería Sanitaria relativo a edificios*. Ediciones Andrade, S.A. Cuarta edición. México, 1977. Publicado en el *Diario Oficial* con fecha Mayo 20 de 1964.