VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN CONDICIONES DE FLUJO REAL EN LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN PARA REDES DE DESAGÜE SANITARIO EVALUADAS EN EDIFICIOS DE GRAN ALTURA

KAREN ASTRID MARTÍNEZ ESPITIA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2021

VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN CONDICIONES DE FLUJO REAL EN LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN PARA REDES DE DESAGÜE SANITARIO EVALUADAS EN EDIFICIOS DE GRAN ALTURA

KAREN ASTRID MARTÍNEZ ESPITIA

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Tutor - Ingeniero Eduardo Zamudio Huertas

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2021

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado
a mis padres que han sido un apoyo,
sustento y motivación durante
mi proceso de formación como
estudiante y futura Ingeniera Civil.

TABLA DE CONTENIDO

Pg

INTRODUCCIÓN 11

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 12

2. JUSTIFICACIÓN 13

3. OBJETIVOS 14

3.1. OBJETIVO GENERAL 14

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

4. MARCO DE REFERENCIA 15

4.1. MARCO DE ANTECEDENTES 15

4.1.1. Diseño y construcción del sistema de ventilación de la instalación para la evacuación de aguas residuales de edificios 15

4.2. MARCO CONCEPTUAL 15

4.2.1. Sistema de ventilación sanitaria 15

4.2.2. Métodos de ventilación 17

4.2.2.1. Ventilación de alivio 18

4.2.2.2. Ventilación individual 19

4.2.2.4. Ventilación húmeda. 20

4.2.2.5. Ventilación en circuito 20

4.2.2.6. Ventilación en anillo 20

4.2.3. Fenómenos de sifonamiento 21

4.2.3.1. Sifonamiento inducido 21

4.2.3.2. Autosifonamiento 22

4.2.4. Cálculo de caudal en redes de desagüe y bajantes 22

4.2.5. Ecuación de flujo inestable de St Venant 25

4.2.6. Aplicación del Método de Características para transformar las ecuaciones de St Venant en una forma derivada total 28

5. DISEÑO METODOLÓGICO 33

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN: 33

5.1.1. Población: 33

5.1.2. Muestra: 33
5.1.3. Variables: 33
5.2. RECOLECCIÓN DE A INFORMACIÓN....33
5.3. PLAN DE ANÁLISIS 34
6. VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN CONDICIONES DE FLUJO REAL EN LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN PARA REDES DE DESAGÜE SANITARIO EVALUADAS EN EDIFICIOS DE GRAN ALTURA. 35
6.1. CAUDAL Y VELOCIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DE LAS BAJANTES 35
6.1.1. Características de la red de desagües, de las bajante y ventilaciones para un edificio de vivienda de 3 pisos....35
6.1.2. Características de la red de desagües, de las bajante y ventilaciones para un edificio de vivienda de 27 pisos....40
6.2. APLICACION DEL MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS EN LAS BAJANTES CON BASE EN EL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN EL DISEÑO DE LAS REDES 47
6.2.1. Variables asociadas al criterio de Courant – Datos de entrada para la aplicación del método de las características 47
6.2.2. Evaluación de la presión relativa en las bajantes con ventilación Simple o primaria 48
6.2.3. Evaluación de la presión relativa en las bajantes con ventilación Simple o primaria variando la localización del proyecto 51
6.2.4. Evaluación de la presión relativa en las bajantes con ventilación Secundaria 54
6.3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS BAJANTES ACORDE A LOS RESULTADOS DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS COMO SOLUCIÓN A LAS ECUACIONES DE CONTINUIDAD Y MOMENTO DE ST VENANT....57
6.3.1. Concentración de los transitorios y comportamiento de la presión en las bajantes analizadas 58
6.3.2. Relación de localización de un proyecto en la amplitud de lo transitorios de presión 66
6.3.3. Relación de la variación de la presión con respecto a la relación de áreas (r) en la bajante. 68
6.3.4. Perdida de los sellos hidráulicos en el proceso del desarrollo de los transitorios de presión 72

CONCLUSIONES 75
BIBLIOGRAFIA 76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad máxima en bajantes 16
Tabla 2. Unidades de desagües de aparatos individuales y en grupo 22
Tabla 3. Tabla para la estimación de demanda 23
Tabla 4. Aplicación de la solución de las ecuaciones de continuidad y momento de acuerdo al régimen de flujo 27
Tabla 5. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAN1 – Nodo 1 38
Tabla 6. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAN1 – Nodo 2 39
Tabla 7. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAN2 – Nodo 1 39
Tabla 8. Condiciones de flujo real edificio de 3 niveles 39
Tabla 9. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR1 – Nodo 1 44
Tabla 10. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR1 – Nodo 2 44
Tabla 11. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR2 – Nodo 1 44
Tabla 12. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR1 – Nodo 23 45
Tabla 13. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR2 – Nodo 23 45
Tabla 14. Condiciones de flujo real edificio de 27 niveles – BAR1 45
Tabla 15. Condiciones de flujo real edificio de 27 niveles – BAR1 46
Tabla 16. Iteración 1 – Edificio 3 niveles Vent. Simple Bogota 49
Tabla 17. Iteración 2 – Edificio 3 niveles Vent. Simple Bogota 49
Tabla 18. Iteración 1 – Edificio 27 niveles Vent. Simple Bogota 49
Tabla 19. Iteración 2 – Edificio 27 niveles Vent. Simple Bogota 50
Tabla 20. Iteración 23 – Edificio 27 niveles Vent. Simple Bogota 50
Tabla 21. Variación de la presión por nodo - BAR 1 Vent. Simple Bogota 50
Tabla 22. Variación de la presión por nodo - BAR 2 Vent. Simple Bogota 51
Tabla 23. Iteración 1– Edificio 3 niveles Vent. Simple Cartagena 52
Tabla 24. Iteración 2– Edificio 3 niveles Vent. Simple Cartagena 52
Tabla 25. Iteración 1– Edificio 27 niveles Vent. Simple Cartagena 52
Tabla 26. Iteración 23– Edificio 27 niveles Vent. Simple Cartagena 53
Tabla 27. Variación de la presión Relativa por nodo - BAR 1 Vent. Simple Cartagena 53
Tabla 28. Variación de la presión Relativa por nodo - BAR 2 Vent. Simple Cartagena 54
Tabla 29. Iteración 1– Edificio 3 niveles Vent. Secundaria Bogotá 55
Tabla 30. Iteración 2– Edificio 3 niveles Vent. Secundaria Bogotá 55
Tabla 31. Iteración 1– Edificio 27 niveles Vent. Secundaria Bogotá 55
Tabla 32. Iteración 23– Edificio 27 niveles Vent. Secundaria Bogotá 55
Tabla 33. Variación de la presión Relativa por nodo - BAR 1 Vent. Secundaria Bogotá 56
Tabla 34. Variación de la presión por nodo - BAR 2 Vent. Secundaria Bogotá 56
Tabla 35. Presión de acuerdo a la relación de áreas y la ventilación evaluada 68

Tabla 35. Aumento en el diámetro de la bajante para una relación de áreas de 1/3 70
Tabla 36. Variación de la presión Relativa de acuerdo a la ventilación evaluada..72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ventilación de alivio 18
Figura 2. Ventilación individual 19
Figura 3. Ventilación común....19
Figura 4. Ventilación húmeda 20
Figura 5. Sifón en reposo – efecto de las presiones sobre el sello del sifón....21
Figura 6. Derivación de la ecuación de continuidad para el flujo inestable en un conducto general 25
Figura 7. Derivación de la ecuación de momento para el flujo inestable en un conducto general 26
Figura 8. Criterio de Courant - Ecuaciones características....30
Figura 9. Ecuaciones características 30
Figura 10. Piso 3 (izquierda) y Piso 2 (derecha) - Vivienda multifamiliar de 3 niveles....37
Figura 11. Piso 1 - Vivienda multifamiliar de 3 niveles....38
Figura 12. Piso 27 - Vivienda multifamiliar de 27 niveles - B.A.R 1 40
Figura 13. Piso 26(izquierda) y Pisos tipo 25 a 4 (derecha) - Vivienda multifamiliar de 27 niveles - B.A.R 1 41
Figura 14. Piso 27(izquierda) y Piso 26 (derecha) - Vivienda multifamiliar de 27 niveles- B.A.R 2 42
Figura 15. Piso 25 a 5 (izquierda) y Piso 4 (derecha) - Vivienda multifamiliar de 27 niveles- B.A.R 2 43
Figura 16. Variación de la presión vent. bajante Bogotá – BAR 1 58
Figura 17. Variación acumulada de la presión vent. simple Bogotá – BAR 1 59
Figura 18. Variación de la presión Relativa vent. simple Bogotá – BAR 2....59
Figura 19. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Bogotá – BAR 2....60
Figura 20. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Cartagena – BAR 1 61
Figura 21. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Cartagena – BAR 1 61
Figura 22. Variación de la presión Relativa vent. simple Cartagena – BAR 2 62
Figura 23. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Cartagena – BAR 2 62
Figura 24. Variación de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 1....63
Figura 25. Variación acumulada de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 164
Figura 26. Variación de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 2....64
Figura 27. Variación acumulada de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 265
Figura 28. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Medellín – BAR 2 67

Figura 29. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Villavicencio – BAR 2 67
Figura 30. Variación de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 1 con aumento en los diámetros.....71
Figura 31. Variación de la presión Relativa nodos 1 a 5 vent. Simple Bogota – BAR 2.....73
Figura 32. Variación de la presión Relativa nodos 1 a 5 vent. Simple Medellín – BAR 2 73
Figura 33. Variación de la presión Relativa nodos 1 a 12 vent. Simple Villavicencio– BAR 2.....74

INTRODUCCIÓN

La presente monografía es la compilación de la metodología de cálculo y análisis del comportamiento de las bajantes y los sistemas de ventilación para las redes de desagüe sanitario comparado en dos edificios de diferente altura, en el estudio del proceder de la presión se evalúan dos casos reales de trazado y diseño de redes de recolección de las aguas servidas en donde por medio de las variables de presión, velocidad del aire y acústica se determina el desarrollo de los transitorios de presión tomando las bajantes con ventilación primaria (extensión de la bajante sobre la cubierta) y con ventilación paralela o secundaria.

Para ello son calculadas las condiciones de flujo de acuerdo con la configuración de las redes en planos para cada uno de los edificios en estudio, de estos se analizaron dos bajantes en cada edificación y basándose en el caudal, diámetro, velocidad, distancia internodal y relación de áreas de cada bajante se obtienen los valores iniciales para aplicar el método de las características desarrollado para la solución de la ecuación diferencial de continuidad y momento de Saint Venant para evaluar los transitorios de presión en cada bajante.

Finalmente, valorar el comportamiento de los transitorios de presión en las bajantes y determinar una posible pérdida de los sellos hidráulicos en los sistemas de desagüe de cada edificación.

.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional en los últimos 100 años ha pasado de mil doscientos sesenta y dos millones de pobladores a más de siete mil millones en el 2017, así como también el aumento en la población que reside en la ciudad ha llevado a las grandes ciudades a cambiar la metodología en la construcción de edificaciones sobre todo aquellas que tiene el uso en vivienda.

En Colombia las construcciones multifamiliares de alta densidad han crecido en los últimos años debido a que en las áreas urbanas los lotes edificables están desapareciendo o queda muy poco por urbanizar, los planes de ordenamiento territorial restringen el crecimiento horizontal de las ciudades y la llegada masiva de venezolanos tras la crisis que se presenta en el vecino país aumentan la población ya creciente por naturaleza.

Es así como el reto de la ingeniería en cada uno de los campos en los que esta aplica (ya sea estructural, eléctrica, mecánica, hidráulica, geotécnica, entre otras) es ajustarse al aumento en las construcciones de tipo vertical a gran altura para cumplir con los estándares de calidad, funcionamiento y normatividad, en el caso de los sistemas sanitarios estos deben ceñirse a condiciones de saneamiento básico que implican el manejo de redes de ventilación para mantener los sellos de agua en el sistema.

La pérdida de los sellos de agua en los sistemas de desagües de aguas residuales puede generar que los malos olores presentes en la tubería pasen al ambiente y no solo eso en el peor de los casos se podría originar la propagación de patógenos y virosis de manera similar al suceso de difusión del virus SARS (Síndrome Respiratorio Agudo Grave) en Amoy Gardens, una urbanización privada de alta densidad en Hong Kong, caso en el que se demostró que a causa de la perdida de agua en los sifones de piso se introdujo a las unidades de vivienda el virus.

2. JUSTIFICACIÓN

Los virus pueden persistir durante meses en el ambiente y para las próximas décadas se esperan nuevos agentes patógenos en las zonas con gran diversidad como lo es Colombia; en este país se presentan situación de mal manejo en cuanto a los temas sanitarios potenciando la trasmisión de virus emergentes similares al AH1N1 (2009).

Además, debido a que se está presentando el auge de las construcciones a gran altura en Colombia y que esto implica una densificación del espacio, es claro también que en un proyecto de vivienda se va a encontrar una cantidad de personas considerable con respecto a cada metro cuadrado de construcción, por lo cual en una situación de la propagación de un virus de manera similar al caso de Amoy Gardens en Hong Kong es fundamental que los sistemas sanitarios y de ventilación paralelamente sean evaluados para las condiciones reales a las que se encontrarían sometidos y evitar la posible trasmisión de virus.

Es así como al considerar las condiciones de flujo no uniforme en los sistemas de aguas residuales y los transitorios de presión en la ventilación se podrán realizar ajustes en la metodologías de diseño, calculo e implementación de redes de ventilación para edificios de gran altura; de esta manera no solo se garantizaría la no propagación de patógenos o virosis en una edificación a causa de la perdida de los sellos hidráulicos, sino también la calidad de vida puesto que se aseguraría la no emisión de olores provenientes de las redes de desagüe.

Así también en el aspecto normativo se determinarán los parámetros a ajustar en el diseño referentes a las edificaciones de gran altura basados en la concepción de transitorios de presión.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar en dos edificios con diferente altura la posible pérdida del sello hidráulico debido a los transitorios de presión en las ventilaciones de redes sanitarias.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular los parámetros de caudal, velocidad, relación de áreas y velocidad del aire en las bajantes seleccionadas en dos edificios de diferente altura por medio de la metodología de flujo estable basado en la normativa legal vigente aplicable.

- Determinar por medio del método de las características (Solución a la ecuación diferencial de continuidad y momento de Saint Venant) los transitorios de presión para dos edificios de diferente altura en las bajantes seleccionadas para el análisis.

- Evaluar la posible pérdida de los sellos hidráulicos en el sistema de desagües para cada uno de los casos de edificación estudiados.

- Determinar el comportamiento de los transitorios de presión en el desarrollo de las bajantes seleccionadas en cada edificio.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO DE ANTECEDENTES

Dentro de la literatura consultada se encontraron los siguientes trabajos de investigación que involucran en su contenido aspectos concernientes al presente proyecto de grado de manera directa o indirecta, estos son:

4.1.1. Diseño y construcción del sistema de ventilación de la instalación para la evacuación de aguas residuales de edificios.[1]

El autor plantea en su trabajo de grado la relación entre el sistema de ventilación y el sistema de evacuación de aguas residuales en edificios, para eso aborda dentro del documento diferentes temáticas desde las generalidades en las instalaciones para el desagüe de aguas residuales y los sistemas de ventilación incluyendo los procesos de sifonamiento, sistemas convencionales y sistemas con dispositivos especiales y finalmente la metodología de diseño de las redes de ventilación.
Por medio de ejemplo de aplicación en diferentes edificios clasificados por el uso y la ocupación da claridad al uso de la información anteriormente mencionada, con lo concluye que en los sistemas sanitarios cuando el caudal es superior a lo contemplado en el diseño el aire en la tubería se comprime antes del flujo y justo después se crea un vacío, la cantidad de aire desplazada es similar es similar a la cantidad de agua en el sistema y que las tuberías en los sistemas deben ser de mayor sección para evitar sifonamiento y golpe de ariete.

4.2. MARCO CONCEPTUAL

4.2.1. Sistema de ventilación sanitaria

El uso de la ventilación en los sistemas sanitarios está relacionado con evitar la pérdida de los sellos hidráulicos y mantener aire en las redes, y para prevenir este fenómeno se busca conservar el aire (presión atmosférica) dentro del sistema.

En condiciones normales se sabe que en la tubería de una bajante el agua cubre 7/24 del área en forma de anillo y el área restante (17/24) es ocupada por aire, pero este se mueve a la velocidad con la que fluye el agua, es así como el aire desplazado debe ser reemplazado por aire que se encuentra en las redes de ventilación.

La correlación que hay entre el área de agua y el área total de la sección de una bajante se denomina como relación de áreas y está vinculada con la cantidad de

[1] GONZÁLEZ, José Leonel. Diseño y construcción del sistema de ventilación de la instalación para la evacuación de aguas residuales de edificios. Trabajo de grado Ingeniería Civil. México. Facultad de Ingeniería de la UNAM. 2016. 93 p.

agua que fluye en la bajante por lo que a su vez se asocia a la porción de aire en la misma, por esto Rafael Pérez indica que cuando la relación de áreas se encuentra entre 1/4 y 1/3 no hay variación de presión que permita la perdida de los sellos hidráulicos.

Para determinar la capacidad de una tubería se plantea con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A \quad (1)$$

Dónde:

Q=Caudal en m^3/s
n= Coeficiente de Manning (PVC -0.010)
R=Radio Hidráulico en m
S=Pendiente
A=Área de la sección en m^2

Para las tuberías que se encuentran en sentido vertical (bajantes) se llega de la anterior ecuación a la siguiente

$$Q = 1.754\, r^{5/3}\, d^{8/3} \quad (2)$$

Dónde:

Q=Caudal en L/s
r=Relación de áreas
D= Diámetro en pulgada

Tabla 1. Capacidad máxima en bajantes

Ø"	Caudal en litros por segundo		
	r = 1/4	r = 7/24	r = 1/3
2	1,10	1,40	1,80
3	3,20	4,20	5,20
4	7,00	9,10	11,30
6	20,70	26,70	33,40
8	44,50	57,60	71,90
10	80,80	104,00	130,40
12	131,00	169,80	212,00

Fuente: Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones[2]

Para el cálculo en las ventilaciones se tiene en cuenta que la presión sobre el sello no puede superar una presión de 2.54 cm.c.a y con base en esto se toma la fórmula de Darcy –Weisbach y el diagrama de Moody:

$$Hf = 7.815x\frac{Q^2}{D^5}xfxL \quad (3)$$

Dónde:
f= Coeficiente de fricción
L=Longitud en metros
Q=Caudal de aire en L/s
D= Diámetro de la ventilación.[2]. (Pérez, 2011, p 208-209)
Ahora bien, la normativa legal vigente colombiana que relaciona las ventilaciones es la NTC 1500 – Código colombiano de instalaciones hidráulicas – tercera actualización y sanitarias en su capítulo 10 ventilaciones dispone:

"El sistema sanitario debe estar provisto de un sistema de tubería de ventilación que permita la admisión o emisión de aire de manera que el sello de cualquier sifón no este sujeto a un diferencial de presión de aire de mas de 249 Pa (1 pulgada de columna de agua)" [3] (NTC 1500 -Tercera actualización, 2017, p 195)
Valor por el cual para todo análisis de ventilación se debe aplicar 249 Pa o 2.54 cm.c.a que equivalen a 1 pulgada de columna de agua.

4.2.2. Métodos de ventilación

En el diseño de las bajantes se establecen cuatro metodologías de ventilación, que funcionan enlazadas con una misma finalidad, estas son: ventilación primaria, ventilación secundaria, ventilación terciaria y ventilación con válvulas de admisión de aire.

- Ventilación primaria: este tipo de ventilación es la proyección de la bajante hasta la cubierta, en la cual se toma aire del exterior de forma lejana a los espacios donde permanecen y habitan las personas.
  Esta ventilación se aplica en construcciones de 7 pisos o menos en donde la continuación de la bajante hasta cubierta debe tener el mismo diámetro en que se diseñó la bajante.
- Ventilación secundaria: se define como la tubería que acompaña de forma paralela la bajante y que se conecta en diferentes alturas a esta, permitiendo aliviar el aumento de presión que se produce en las descargas dentro de la bajante.

[2] PÉREZ CARMONA, Rafael. Capítulo 6 Sistemas de ventilación. En: Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones. sexta edición. Ecoe ediciones. Bogotá D.C. 2011. P. 203-.224
[3] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS, Código Colombiano de instalaciones hidráulica y sanitarias, NTC 1500, Tercera actualización, 2017, 284P.

Las ventilaciones secundarias en diseño deben contar con un diámetro uniforme desde el inicio hasta el final de la bajante y su diámetro debe ser igual o superior a la mitad del diámetro que tiene la bajante.

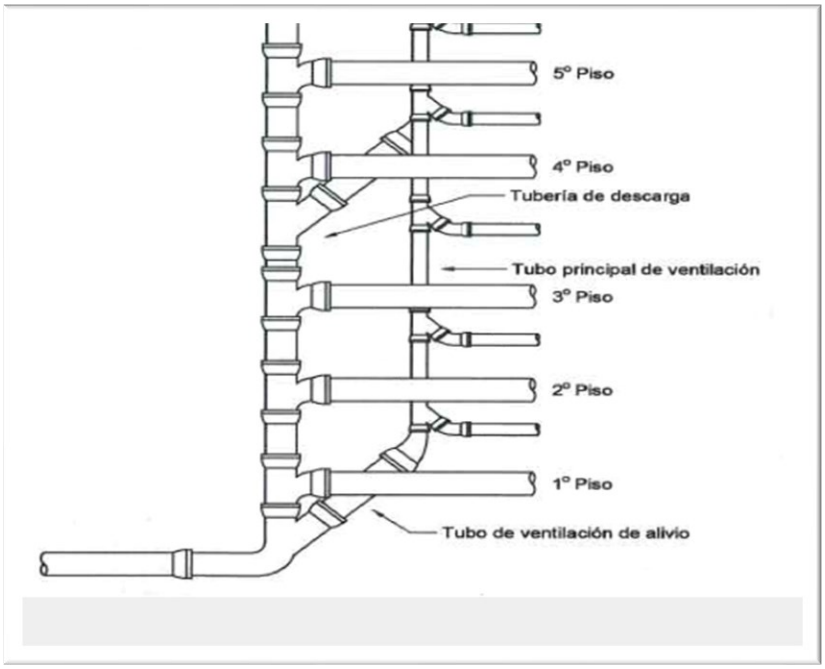
- Ventilación terciaria: ventilación en la que por medio de conexiones cercanas a la ubicación de los sifones en los aparatos [4]

Con respecto a las anteriores definiciones se establen las diferentes metodologías para el desarrollo de las redes de ventilación en lalos sistemas de desagüe.

4.2.2.1. Ventilación de alivio

Debido a que la descarga de aguas servidas genera cambios en la presión dentro de la bajante en los edificios de varios niveles en el proceso constructivo el extremo inferior de la ventilación secundaria se conecta a la bajante por debajo del primer ramal horizontal y el extremo superior se conecta a esta por encima del ultimo ramal como se muestra en la siguiente imagen [5].(Pérez, 2011, p 217)

Figura 1. Ventilación de alivio



Fuente: NTC 1500, Tercera Actualización[3]

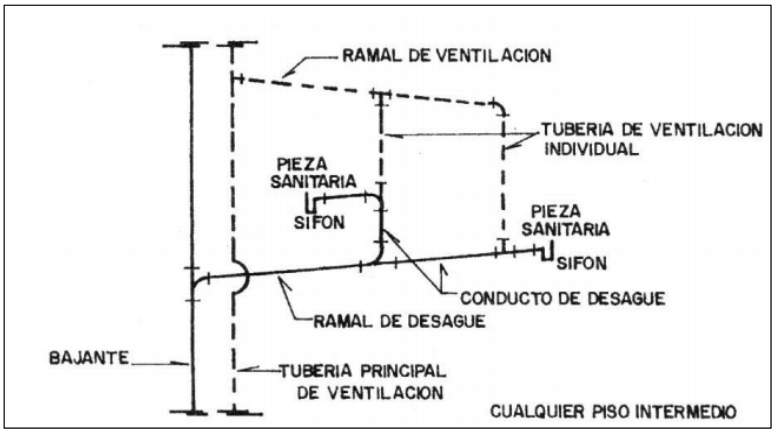
[4]DE MIRADA Bruno. Ventilación de bajantes de aguas residuales [en línea]. Ingenieros Industriales [consultado: 02 de febrero del 2020]. Disponible en: https://www.ingenierosindustriales.com/ventilacion-de-bajantes-de-aguas-residuales/

[5] PÉREZ CARMONA, Rafael. Op. cit. P. 217.

4.2.2.2. Ventilación individual

Es la aquella en la que se ventila el sifón de cada aparato, esta metodología es más costosa pues implican un aumento en las redes y dentro del proceso constructivo son difíciles de construir por lo que no se recomiendan.

Figura 2. Ventilación individual

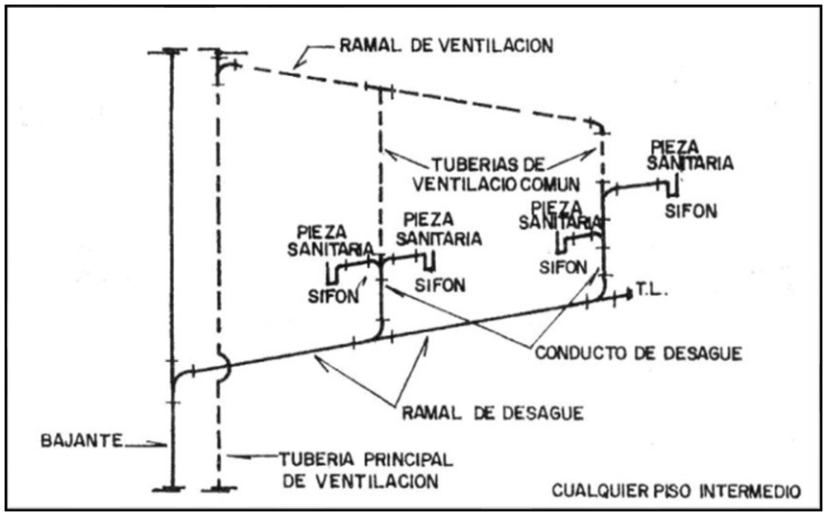


Fuente: Unidad III: Recolección y evacuación de aguas residuales[4]

4.2.2.3. Ventilación común

La ventilación común se desarrolla cuando se conecta a una red de ventilación para dos o más sifones de aparatos, generalmente se presenta en aparatos enfrentados.

Figura 3. Ventilación común

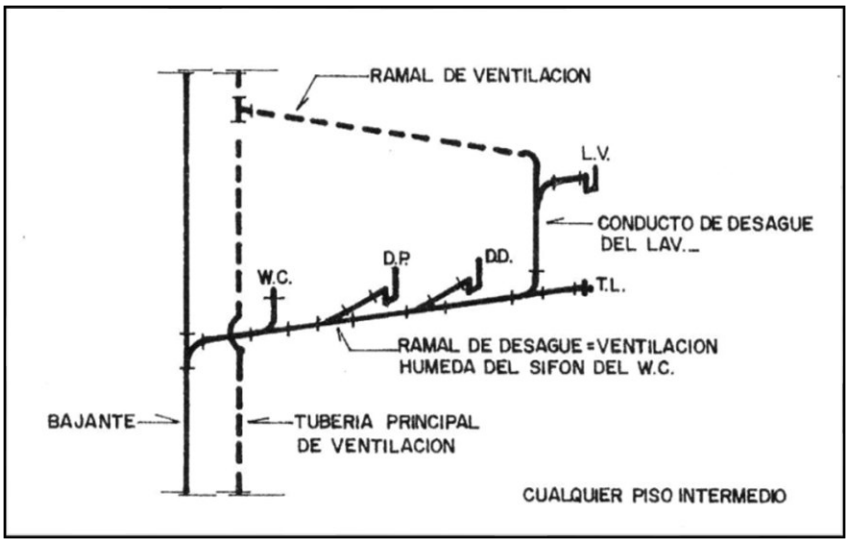


Fuente: Unidad III: Recolección y evacuación de aguas residuales[5]

4.2.2.4. Ventilación húmeda.

Es un método de ventilación en la que la tubería de desagüe de un aparato hace las veces de desagües y ventilación a la vez para el mismo aparato y para otros de la red sanitaria[6]. (Villasmil, 2009, P 7-21)

Figura 4. Ventilación húmeda



Fuente: Unidad III: Recolección y evacuación de aguas residuales[5]

4.2.2.5. Ventilación en circuito

Es cuando un solo ramal de tubería se encarga de la ventilación de uno o más aparatos en un piso, este método se hace desde el último aparato conectado y se conecta a la columna de ventilación secundaria, para las ventilaciones en circuito se establecen como máximo 8 aparatos conectados a la red.

4.2.2.6. Ventilación en anillo

Se maneja de manera similar a la ventilación en circuito, sino que se diferencia por que la conexión se realiza a la prolongación de la bajante (ventilación primaria) y no a la columna de ventilación secundaria[7]. (Rodríguez, 2009, p 134)

[6]VILLASMIL, Alejandro. Construcción 30: Unidad III Recolección y evacuación de aguas residuales. Mérida, Venezuela. Departamento de tecnología de la construcción. Universidad de los andes 2009 P 7-21

[7] RODRÍGUEZ DIAZ, Héctor Alfonso. Sistemas de desagües. En: Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones. Colombia. Digiprint editores EU. P 119 - 140

4.2.3. Fenómenos de sifonamiento

El proceso de sifonamiento se hace efectivo cuando se expulsa el agua fuera del sello hidráulico (lámina de agua que evita la salida de malos olores y animales de los aparatos), dicho proceso se da por cambios de presión en las redes de desagüe sanitario o en las ventilaciones.

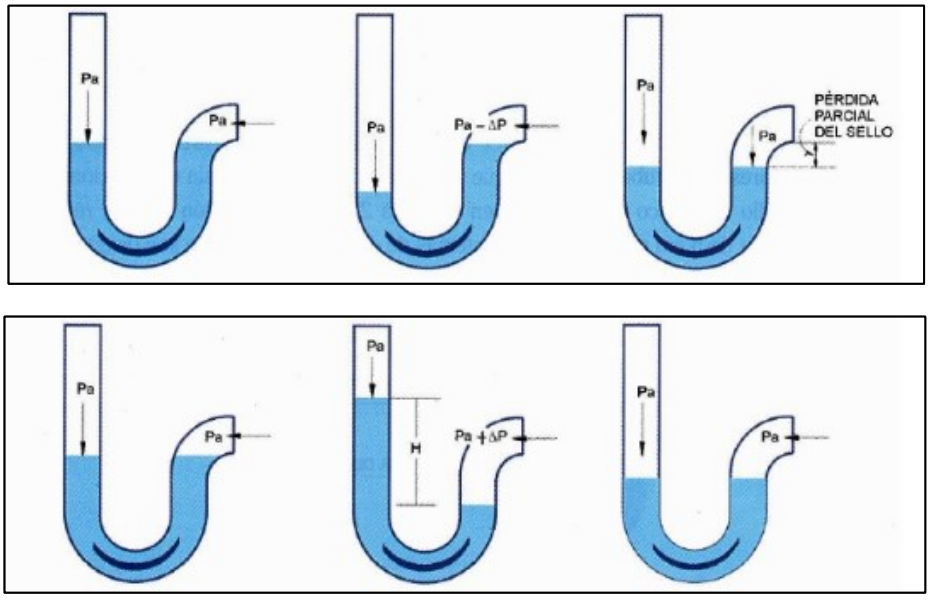
Se conocen dos tipos de sifonamiento uno es sifonamiento inducido o autosifonamiento.

4.2.3.1. Sifonamiento inducido

Se genera cuando se varia la situación de reposo de un sello hidráulico en contacto directo con la red de desagüe.

La situación en reposo se mantiene a ambos lados del sello cuando únicamente actúa la presión atmosférica, pero al producirse una descarga de uno o varios aparatos a la vez se generan movimientos de aire en el sistema, este diferencial de presión afectara a los sifones de los aparatos aguas arriba de la descarga con situaciones de succión y aguas abajo con sobrepresión[8]..

Figura 5. Sifón en reposo – efecto de las presiones sobre el sello del sifón



Fuente: Redes hidráulicas y sanitarias – Jorge Armando Granados[9]

[8] Escuela técnica superior de arquitectura de Sevilla. [en línea]. Apuntes de Instalaciones 1 - Saneamiento y electricidad. [consultado: 02 de febrero del 2020] Disponible en: https://issuu.com/andrestg/docs/instalaciones1_san_ele/33

[9] GRANADOS, Jorge Armando. Redes hidráulicas y sanitarias en edificios. Sistemas de ventilación. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 1998. - 151 p.

4.2.3.2. Autosifonamiento

El proceso de sifonamiento en este caso se produce por características del aparato, situaciones como la descarga inicialmente rápida de un aparato lleno y una vez se está cerca del vaciado se da una descarga lenta que no permite el llenado total del sifón, además en algunos aparatos al final de la descarga se genera un vórtice que ingresa aire al sistema.

Otra situación de autosifonamiento es la pérdida del sello por evaporación del agua en usos no frecuentes del aparato y exposición exterior[10].

4.2.4. Cálculo de caudal en redes de desagüe y bajantes

La metodología a implementar para el cálculo de caudal en las bajantes se basa en las unidades de desagüe para aparatos establecidas en la normativa legal vigente aplicada a las redes hidráulicas y sanitarias, es decir el código colombiano de instalaciones Hidráulicas y Sanitarias NTC 1500 – Tercera actualización en donde se aplican la tabla 2:

Tabla 2. Unidades de desagües de aparatos individuales y en grupo

Tipo de aparato o accesorio	Valor unitario de desagües de aparato como factor de carga	Dimensión mínima del sifón (pulgadas)
Maquina automática de lavar ropa, residencial	2	(2)
Combinación de poceta y bandeja	2	(1 ½)
Lavadora para platos, domestica	2	(1 ½)
Desagüe de piso	2^h	(2)
Poceta de piso	^{h}	(2)
Lavaplatos, domestico	2	(1 ½)
Lavaplatos con triturador de vertimientos y/o lavavajillas	2	(1 ½)
Bandeja de lavar ropa (1 o 2 compartimientos)	2	(1 ½)

[10] Escuela técnica superior de arquitectura de Sevilla. Apuntes de Instalaciones 1 - Saneamiento Electrotecnia y Luminotecnia. 219p.

Lavamanos	1	(1 ¼)
Ducha (basado en el gasto nominal a través de regaderas y duchas de mano) Gasto Nominal:		
0.36 L/s (5,7gpm) o menos	2	(1 ½)
Poceta de servicio	2	(1 ½)
Poceta	2	(1 ½)
Poceta de aseo (circular o múltiples) cada juego de grifos	2	(1 ½)
Inodoro, privado (lavado mayor a 1.6 gpd)	4[e]	[d]

Fuente: NTC 1500, Tercera Actualización

Tomando la tabla anterior se genera el consolidado de unidades en la red y basándose en las unidades totales por ramal o por piso se aplica una de las modalidades de cálculo, una de estas es basada en validar el total de unidades en los valores de carga (unidades de aparato) de la tabla 3 que para edificios de vivienda aplica a los sistemas de suministro principalmente para sanitarios de tanque (aparatos con grifería estándar), metodología presentada en el anexo B de la Norma técnica colombiana NTC 1500, tercera actualización[11]

Tabla 3. Tabla para la estimación de demanda

Sistemas de suministro principalmente para sanitarios de tanque			
Carga	**Demanda**		
(unidades de aparato de suministro de agua)	L/min	Galones por minuto	L/s
1	11.3	3.0	0.188
2	18.9	5.0	0.314
3	24.6	6.5	0.408
4	30.3	8.0	0.503
5	35.6	9.4	0.591
6	40.5	10.7	0.672
7	44.7	11.8	0.742
8	48.4	12.8	0.803
9	51.8	13.7	0.860
10	55.3	14.6	0.918
11	58.3	15.4	0.968
12	60.6	16.0	1.006
13	62.4	16.5	1.036
14	64.3	17.0	1.067
15	66.2	17.5	1.099
16	68.13	18.0	1.131
17	69.6	18.4	1.155
18	71.1	18.8	1.180
19	72.7	19.2	1.207
20	74.2	19.6	1.232

[11] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS, Op. cit. P. 262-263.

25	81.4	21.5	1.351
30	88.2	23.3	1.464
35	94.2	24.9	1.564
40	99.5	26.3	1.652
45	104.8	27.7	1.740
50	110.1	29.1	1.828
60	121.1	32.0	2.010
70	132.5	35.0	2.200
80	143.8	38.0	2.387
90	155.2	41.0	2.576
100	164.6	43.5	2.732
120	181.7	48.0	3.016
140	198.7	52.5	3.298
160	215.7	57.0	3.581
180	230.9	61.0	3.833
200	246	65.0	4.084

225	264.9	70.0	4.397
250	283.8	75.0	4.711
275	302.8	80.0	5.026
300	321.7	85.0	5.340
400	397.4	105.0	6.597
500	469.3	124.0	7.790
750	643.4	170.0	10.680
1000	787.3	208.0	13.069
1250	904.6	239.0	15.016
1500	1081.1	285.6	17.946
1750	1124.1	297.0	18.660
2000	1230.1	325.0	20.420
2500	1438.3	380.0	23.876
3000	1638.9	433.0	27.206
4000	2024.9	534.9	33.613
5000	2244.5	592.9	37.259

Fuente: NTC 1500, Tercera Actualización[3]

La otra modalidad de cálculo es el método de Hunter modificado, para explicar la metodología es necesario partir del método de Hunter Original, procedimiento que como mencionamos anteriormente se basa en las unidades de consumo o unidades de gasto (demanda), es así como con base en el número de unidades en el sistema y al multiplicar por el factor de 2.5 se obtiene el caudal máximo de diseño, dado que con esta metodología se alcanzan caudales muy altos que implican en diseños un alto costo en tuberías al tener que aplicarse mayores diámetros, situación por la cual se establece una metodología para evaluar gastos normales o promedio que no llegan a ser consumos mínimos.

Para realizar el cálculo de caudal con la metodología de Hunter modificado se deben aplicar las siguientes ecuaciones:

Para unidades de consumo que se encuentran entre las 3 a 240 unidades se aplican las ecuaciones (4) y (5) dependiendo los aparatos instalados.

- Para aparatos con grifería estándar

$$Q = 0.1163\ (UC)^{0.6875} \quad (4)$$

- Para aparatos con válvulas de fluxómetro

$$Q = 0.7243\ (UC)^{0.384} \quad (5)$$

Y para unidades de consumo entre las 240 a 1000 unidades se aplican las ecuaciones (6) y (7) dependiendo los aparatos instalados.

- Para aparatos con grifería estándar

$$Q = 0.074\ (UC)^{0.7504} \quad (6)$$

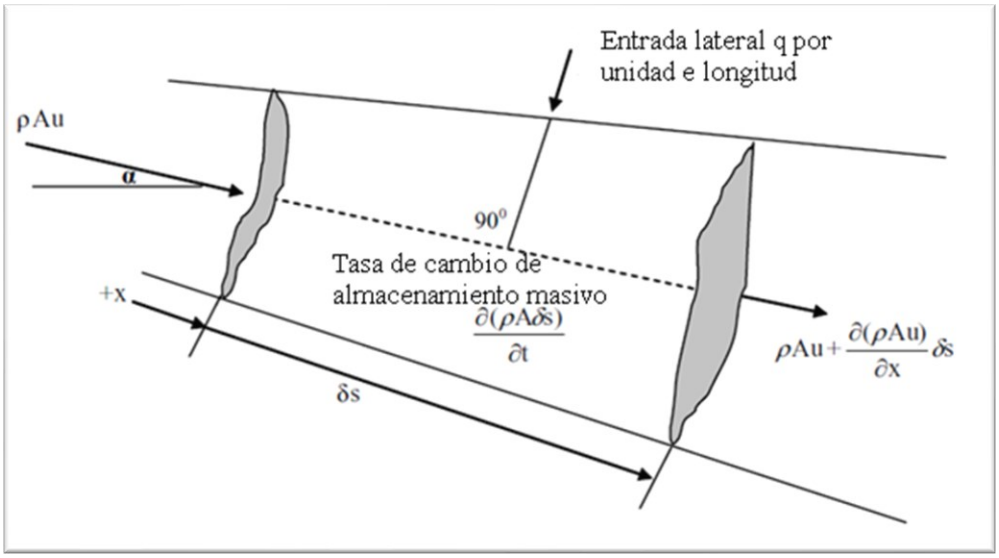
- Para aparatos con válvulas de fluxómetro

$$Q = 0.3356\ (UC)^{0.5281} \quad (7)\ 12$$

4.2.5. Ecuación de flujo inestable de St Venant

Al evaluar la sección transversal en condiciones de flujo no estacionario en un elemento de flujo unidimensional entre dos secciones fijas manteniendo la longitud del conducto y las secciones transversales para no afectar la relación de Poisson se establecen disposiciones de continuidad y momento presentadas en la figura 6 y figura 7.

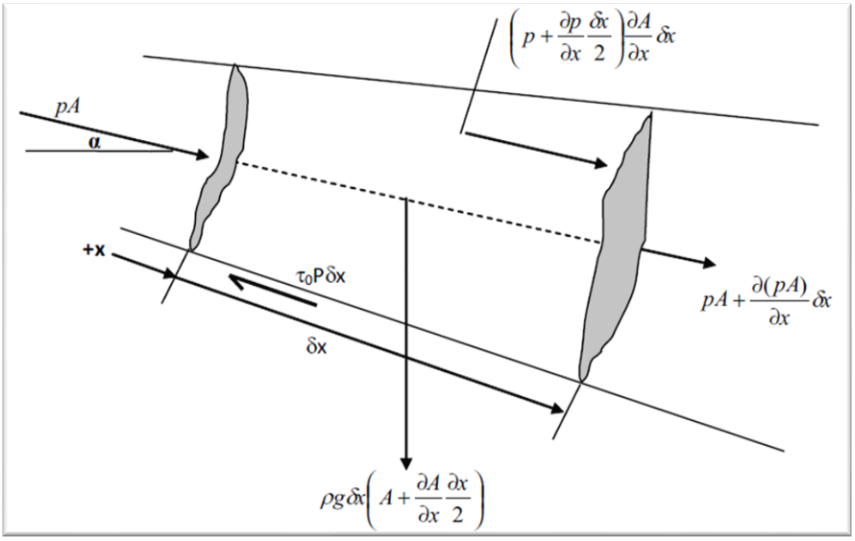
Figura 6. Derivación de la ecuación de continuidad para el flujo inestable en un conducto general



Fuente: Transient airflow in building drainage Systems[12]

[12] RODRÍGUEZ, Héctor. Op cit P94

Figura 7. Derivación de la ecuación de momento para el flujo inestable en un conducto general



Fuente: Transient airflow in building drainage Systems[12]

Con base a la figura 6 la ecuación de continuidad se expresa como:

$$Entrada\ de\ masa - salida\ de\ masa = Tasa\ de\ cambio\ del\ Almacenamiento\ masa$$

$$\rho Au - \left[\rho Au + \frac{\partial(\rho Au)\delta s}{\partial x}\right] + q\boldsymbol{\rho}\delta s = \frac{\partial(\rho A\delta s)}{\partial t} \quad (8)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{A}\left[\frac{\partial A}{\partial t} + u\frac{\partial A}{\partial x}\right] + \frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + u\frac{\partial \rho}{\partial x}\right] - \frac{q}{A} = 0 \quad (9)$$

De manera simplificada se tiene:

$$\boldsymbol{Termino\ 1C + Termino\ 2C + Termino\ 3C + Termino\ 4C = 0}$$

Ahora bien, para la ecuación de impulso en base a la figura 7 será:

$$pA + \left[p + \frac{\partial p}{\partial x}dx\right]\left[A + \frac{\partial A}{\partial x}dx\right] + \left[p + \frac{1\partial p}{2\partial x}dx\right]\frac{\partial A}{\partial x}dx + \tau_o\, Pdx + mg\, sin\alpha = \rho Adx\left[\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u\, dx}{\partial x\, dt}\right] + \rho qdxu \quad (10)$$

Reduciendo términos se tiene:

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \left[\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u\, dx}{\partial x\, dt}\right] - g\, sin\alpha + \frac{\tau_o P}{\rho A} + \frac{qu}{A} = 0 \quad (11)$$

Y nuevamente es conveniente representar esta expresión como:

$$\boldsymbol{Termino\ 1m + Termino\ 2m + Termino\ 3m + Termino\ 4m + Termino\ 5m = 0}$$

Por consiguiente, para cada caso de régimen inestable se usan determinados términos en ambas ecuaciones.

Tabla 4. Aplicación de la solución de las ecuaciones de continuidad y momento de acuerdo al régimen de flujo

Régimen de flujo inestable	Ecuación de continuidad	Ecuación de impulso
Golpe de ariete de agua tradicional, incluyendo flujos de conductos cerrados, Sistemas sifónicos de aguas pluviales.	Términos 1, 2, 3	Términos 1, 2, 3, 4
Flujos de superficie libre, incluidos los sistemas de drenaje del edificio dentro o cerca de la envoltura del edificio.	Términos 1, 2 solamente	Términos 1, 2, 3, 4
Flujos de superficie libre donde el flujo lateral se vuelve importante.	Términos 1, 2, 4 solamente	Términos 1, 2, 3, 4, 5
Las aplicaciones transitorias de presión de aire de baja amplitud, las simplificaciones no incluyen cambios en la sección transversal del conducto, ni entradas laterales ni extensiones del conducto longitudinal.	Términos 1, 3 solamente	Términos 1, 2, 4 solamente

Fuente: Transient airflow in building drainage Systems[10]

En consecuencia, de acuerdo al tipo de régimen de flujo inestable se establece que el uso de las ecuaciones de continuidad y momento para el análisis en los sistemas de drenaje y ventilación de edificios para las redes de aguas residuales es la aplicación transitoria de presión de aire de baja amplitud, con esto tomando las ecuaciones 10 y 11 de continuidad y momento respectivamente y empleando los términos relacionados con el uso de régimen de flujo inestable se tiene:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + u\frac{\partial \rho}{\partial x}\right] = 0 \quad (12)$$

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x}\frac{dx}{dt}\right) + \frac{\tau_o P}{\rho A} = 0 \quad (13)$$

Y tomando las características de presión, densidad y velocidad de onda las relacionan las siguientes ecuaciones:

$$\frac{p}{\rho^{\gamma}} = k \quad (14)$$

Dónde:

p= Presión del aire
ρ= Densidad del aire
γ= Relación de calores específicos.
k= Constante

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \quad (15)$$

Dónde:

c= Velocidad de onda
p= Presión
ρ= Densidad
K= Modulo de volumen del fluido
γ= Relación de calores específicos.

Ajustando las ecuaciones 14 y 15 y aplicándolas a las ecuaciones de continuidad y momento de Saint Venant 12 y 13 se permite que la presión y la densidad se reemplacen en las ecuaciones de St Venant por la velocidad de onda, c, reduciendo estas expresiones a dos variables dependientes y dos independientes, velocidad de onda y velocidad de flujo y tiempo y distancia. Las ecuaciones de continuidad y momento en c y u, por lo tanto, se convierten en

$$L_1 = \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \left[\frac{2}{\gamma - 1}\right] \frac{\rho}{c} \left[\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x}\right] = 0 \quad (16)$$

$$L_2 = \left[\frac{2}{\gamma - 1}\right] \frac{\rho}{c} \frac{\partial c}{\partial x} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x}\right) + \frac{4\rho f u|u|}{2D} = 0 \quad (17)$$

4.2.6. Aplicación del Método de Características para transformar las ecuaciones de St Venant en una forma derivada total

El Método de Características (MoC), que permite que las ecuaciones diferenciales hiperbólicas casi lineales en dos variables dependientes y dos independientes se transformen en un par de ecuaciones diferenciales totales que pueden resolverse numéricamente.

Como las ecuaciones que representan la continuidad y la relación de impulso en un flujo de aire inestable dentro de un sistema de drenaje y ventilación del edificio, en la forma presentada en el capítulo anterior no son susceptibles de solución numérica se aplica el método de Características.

$$L = \lambda L_1 + L_2 = 0 \quad (18)$$

Donde λ es un término arbitrario elegido para permitir la transformación de estas expresiones diferenciales, por lo tanto, la ecuación 16 y 17 se rescriben en base a la ecuación 18, así:

$$L = \frac{\partial u}{\partial x} + (\lambda + u)\frac{\partial u}{\partial x} + \left(\frac{2}{\gamma - 1}\right)\left[\frac{\lambda}{c}\frac{\partial c}{\partial t} + \left(\lambda\frac{u}{c} + c\right)\frac{\partial c}{\partial x}\right] + \frac{4fu|u|}{2D} = 0 \quad (19)$$

$$L = \frac{\partial u}{\partial x} + (\lambda + u)\frac{\partial u}{\partial x} + \left(\frac{2}{\gamma - 1}\right)\frac{\lambda}{c}\left[\frac{\partial c}{\partial t} + \left(u + \frac{c^2}{\lambda}\right)\frac{\partial c}{\partial x}\right] + \frac{4fu|u|}{2D} = 0 \quad (20)$$

Como u=θ (x, t) y c=θ (x, t) resulta que

$$\frac{du}{du} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x}\frac{dx}{dt} \quad \text{y} \quad \frac{du}{du} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x}\frac{dx}{dt} \quad (21)$$

así que $\frac{dx}{dt} = (\lambda + u) = (u + \frac{C^2}{\lambda})$ y por lo tanto $\lambda = \pm c$.

La ecuación anterior se reduce así a una ecuación diferencial total.

$$\frac{\partial u}{\partial x} \pm \frac{2}{\gamma - 1}\frac{dc}{dt} + \frac{4fu|u|}{2D} = 0 \quad (22)$$

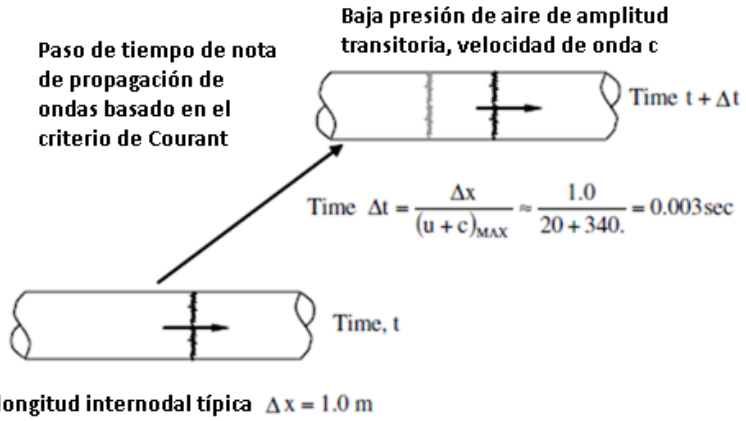
siempre que

$$\frac{dx}{dt} = u \pm c \quad (23)$$

La anterior ecuación coloca restricciones en la solución y le dan al método su título, además define la pendiente de las "características" que se pueden dibujar en un plano x – t para representar las ecuaciones características.

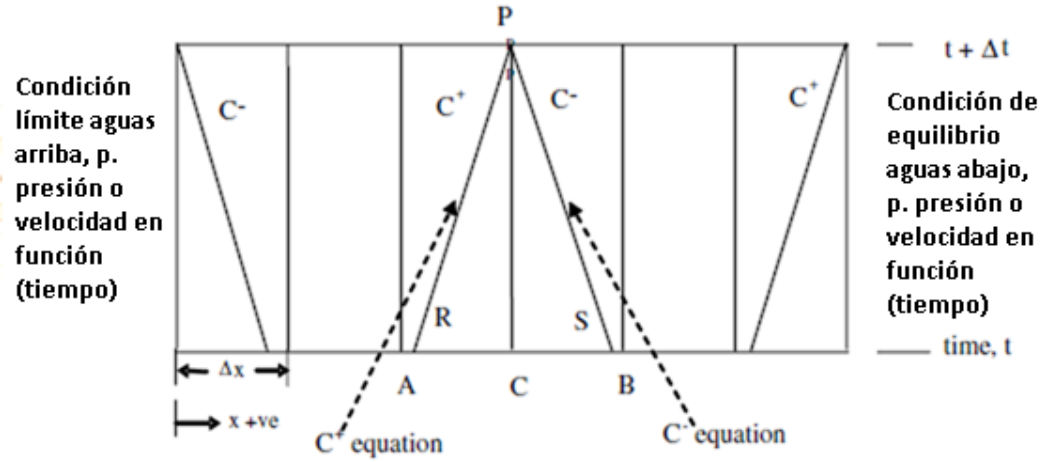
La técnica de solución es ilustrada en la figura 9 en la que se construyen las expresiones de diferencias finitas para representar la relación entre las condiciones conocidas en los puntos R y S y los valores desconocidos futuros de u y c en el punto P, un paso hacia el futuro. Se apreciará que como las pendientes de RP y SP son ligeramente diferentes, es decir, $dx/dt = u \pm c$, las características no pasan a través de A y B a menos que u sea despreciable en comparación con c.

Figura 8. Criterio de Courant - Ecuaciones características



Fuente: Transient airflow in building drainage Systems[10]

Figura 9. Ecuaciones características



Fuente: Transient airflow in building drainage Systems[10]

Por lo tanto, las características C+ que vinculan RP se pueden expresar con base a la ecuación 22, así:

$$u_P - u_R + \frac{2}{\gamma - 1}(C_p + C_R) + 4 f_R u_R |u_R| \frac{\Delta t}{2D} = 0 \quad (24)$$

Cuando

$$\frac{dx}{dt} = u_R + c_R \quad (25)$$

y las características C- que vinculan SP se pueden expresar como

$$u_P - u_S + \frac{2}{\gamma - 1}(C_p + C_S) + 4 f_S u_S |u_S| \frac{\Delta t}{2D} = 0 \quad (25)$$

Cuando

$$\frac{dx}{dt} = u_S + c_S \text{ (26)}$$

La Figura 9 ilustra el criterio de Courant, representado por las ecuaciones características que vinculan la distancia intermodal, Δx, al paso de tiempo, Δt, en términos de la velocidad del flujo de aire, u, y la velocidad de la onda, c. En la práctica, es necesario utilizar el mismo paso de tiempo en todos los cálculos en cualquier momento en toda la red. Así, el paso de tiempo apropiado se convierte en el más pequeño para satisfacer el criterio de Courant,

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{(u+c)_{MAX}} \text{ (27)}$$

Si se impone un paso de tiempo en la cuadrícula ilustrada en la Figura 8, entonces es necesario interpolar entre los valores conocidos de u y c en los puntos de nodo A, B, C en el momento t para determinar las condiciones de base en R y S para permitir la solución de las ecuaciones de C+ y C– que se intersectan en P.

Es necesario desarrollar expresiones de interpolación que permitan determinar las condiciones en R y S a partir de valores calculados previamente de u y c en los puntos nodales A, B, C.

Para los nodos separados por el paso de tiempo se deduce que $x_P = x_C$ y por geometría.

$$X_P - X_R = (U_R + C_R)\,\Delta t \text{ (28)}$$

La interpolación permite

$$\frac{C_C - C_R}{C_C - C_A} = \frac{u_C - u_R}{u_C - u_A} = \frac{X_C - X_R}{X_C - X_A} = (u_R + C_R)\frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{P_C - P_R}{P_C - P_A} \text{ (29)}$$

Y los resultados de eliminación en las siguientes relaciones de interpolación permiten despejar las variables u, c y P para los puntos R y S.

$$u_R = \frac{u_C + \theta(-u_c C_A + C_c u_A)}{1 + \theta\,(u_c - u_A + C_c - C_A)} \text{ (30)}$$

$$C_R = \frac{C_c(1 - u_R\theta) + C_A u_R \theta}{1 + C_c\theta - C_A\theta} \text{ (31)}$$

$$P_R = P_c - \theta(u_R - C_R)(P_c - P_A) \text{ (32)}$$

$$u_S = \frac{u_C - \theta(u_c C_B - C_c u_B)}{1 + \theta\,(u_c - u_B - C_c + C_B)} \text{ (33)}$$

$$C_S = \frac{C_c(1 + u_S\theta) + C_B u_S \theta}{1 + C_c\theta - C_B\theta} \text{ (34)}$$

$$P_S = P_c + \theta(u_S - C_S)(P_c - P_B) \text{ (35)}$$

Donde

$$\theta = \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (36)$$

Las ecuaciones características, C+ y C-, pueden reducirse en cualquier momento para la expresión C+ a

$$u_P = K_1 - K_2 C_P \quad (37)$$

Y para la expresión C- a

$$u_P = K_3 - K_4 C_P \quad (38)$$

donde

$$K_1 = u_R + \frac{2}{\gamma - 1} C_R - 4 f_R u_R |u_R| \frac{\Delta t}{2D} \quad (39)$$

$$K_3 = u_S + \frac{2}{\gamma - 1} C_S - 4 f_S u_S |u_S| \frac{\Delta t}{2D} \quad (40)$$

$$K_2 = K_2 = \frac{2}{\gamma - 1} \quad (41)$$

Si bien la interpolación es necesaria si la velocidad de la onda varía en la red y es necesario imponer un paso de tiempo mínimo en los cálculos para garantizar que la simulación se realice de manera ordenada, por ejemplo, es necesario conocer los valores de las variables u, c y p en la salida de todas las tuberías que se unen en la bajante al mismo tiempo, se debe tener cuidado para evitar los errores de redondeo inherentes al proceso de interpolación. Para calcular las condiciones de base en R y S en el tiempo t, es necesario suponer que los transitorios que alcanzaron A y B en el tiempo t afectan las condiciones en R y S en ese momento; esto conduce a un redondeo del frente de onda y puede introducir una amortiguación poco realista de la respuesta de presión[13].

[13] Swaffield, John. Mathematical basis for the simulation of low amplitude air pressure transients in vent systems. En: Transient Airflow in Building Drainage Systems. Londres y New York, Spon Press, 2010. P. 59-91

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Cuantitativa descriptiva

5.1.1. Población:

Sistemas de ventilación sanitarias en edificaciones de diferentes alturas.

5.1.2. Muestra:

Sistemas de ventilación en una edificación de vivienda de gran altura (27 pisos) y una vivienda tradicional (de 3 pisos de altura) ubicadas en Bogotá, Colombia.

5.1.3. Variables:

5.1.3.1. Velocidad de flujo:

- Velocidad de flujo en cada bajante para cada uno de los edificios estudiados.
- Velocidad en cada nodo de la bajante.

5.1.3.2. Velocidad de onda:

- Velocidad de onda determinada a partir de la relación de calores específicos, presión atmosférica y densidad inicial.
- Velocidad de onda como la velocidad acústica del aire.

5.1.3.3. Criterio de Courant:

- Paso de tiempo para cada nodo en base a la velocidad del flujo de aire, velocidad de onda y la distancia internodal.

5.1.3.4. Presión

- Presión en cada nodo por bajante en cada edificio evaluado.
- Presión en el terminal de cada bajante de desagüe.

5.2. RECOLECCIÓN DE A INFORMACIÓN

La información requerida para realizar este proyecto de investigación es obtenida de una fuente primaria, es así como el caudal y demás variables de la hidráulica relacionadas con el cálculo en condiciones de flujo real para las bajantes en estudio serán tomadas de planos de diseño de las redes de desagüe y ventilación de las dos tipologías de viviendas multifamiliar y su respectiva localización geografía (en este caso los dos edificios con redes sanitarias y de ventilación se encuentran

ubicados en la ciudad de Bogotá y en análisis se establece una posible ubicación en Cartagena para el proceso de comparación).

5.3. PLAN DE ANÁLISIS

Inicialmente es realizada la selección de los dos proyectos de vivienda de diferente altura en donde se evalúan las características de la bajante nodo a nodo (en la unión de cada ramal por piso) por medio del chequeo de los aparatos que conecta a la misma, distancia al terminal de ventilación sobre cubierta; con esto son determinados el caudal de agua, caudal de aire, velocidad del aire, presión absoluta del aire y velocidad acústica del aire en la bajante para cada intersección.

Con las variables anteriores es implementada la Metodología de las Características para determinar la velocidad del aire, velocidad acústica del aire, presión absoluta, y la variación de la presión absoluta al final de cada nodo, es importante en este paso tener el cuanta las condiciones de borde en la aplicación de la metodología pues dichas condiciones dependerán del tipo de ventilación manejada.

Finalmente, con los datos arrojados por la metodología es realizado el análisis de la variación de la presión con respecto al sentido de flujo de la bajante y de acuerdo a esto se analizan y comparan los dos edificios en estudio en donde se evalúan las pérdidas de los sellos y el aumento en la presión.

6. VARIACIÓN DE LA PRESIÓN EN CONDICIONES DE FLUJO REAL EN LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN PARA REDES DE DESAGÜE SANITARIO EVALUADAS EN EDIFICIOS DE GRAN ALTURA.

Para realizar la estimación de la presión en condiciones de fujo real en los sistemas de bajantes se toman dos edificios en diseño, que serán construidos en la ciudad de Bogotá, de los cuales son analizadas dos bajantes para de manera inicial evaluar las características de las redes, esta evaluación será el punto de partida en el desarrollo y aplicación del método de las características.
Una vez son definidas las variables de flujo en cada bajante es aplicado el método de las características en donde por cada nodo se realizan los procesos iterativos relacionados con el avance del transitorio de presión en un intervalo de tiempo establecido sobre la base de la velocidad de aire (u) y la velocidad acústica (c).
Finalmente, con base en los resultados de velocidad del aire, velocidad acústica y presión absoluta se determina la presión relativa en cada nodo y la variación de la misma en cada bajante en estudio para las dos edificaciones con el fin de determinar el comportamiento de la presión de acuerdo con las condiciones iniciales de análisis (localización, sistema de ventilación, caudal, entre otras).

6.1. CAUDAL Y VELOCIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DE LAS BAJANTES

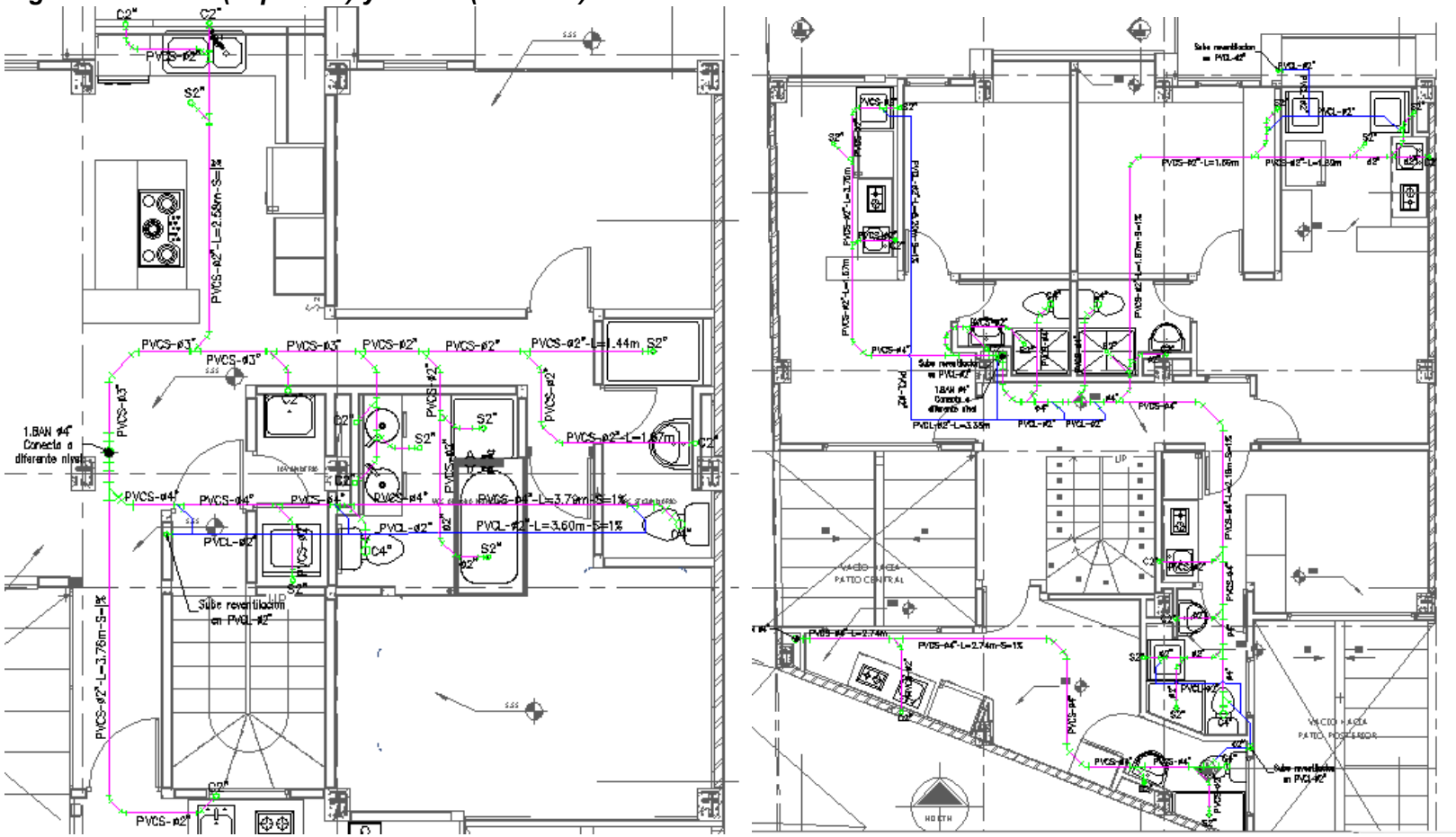
Cada diseño de redes de desagüe y ventilación es característico de un proyecto y establece unas condiciones de caudal basándose en los aparatos que se conectan a dichas redes, para ello por cada una de las edificaciones en estudio se realiza el análisis de los aparatos conectados a las bajantes piso a piso en las intercepciones o nodos de cada bajante.
Por consiguiente, a partir del cálculo de dicho caudal se establecen los valores de velocidad del agua y a su vez la velocidad del aire en cada tramo (teniendo en cuenta a su vez el diámetro del bajante indicado en planos), y así a partir de estas magnitudes se definen para el proyecto las condiciones de flujo real necesarias para la implantación de la metodología de cálculo de los transitorios de presión.

6.1.1. Características de la red de desagües, de las bajante y ventilaciones para un edificio de vivienda de 3 pisos

En el proceso de evaluación son estudiadas las redes de una vivienda Multifamiliar de 3 Pisos con 7 unidades habitacionales y un local, en donde las redes hidrosanitarias cuentan con 2 bajantes de aguas residuales que se encargan de recoger los puntos de desagüe de los aparatos propuestos en el diseño arquitectónico de la edificación.

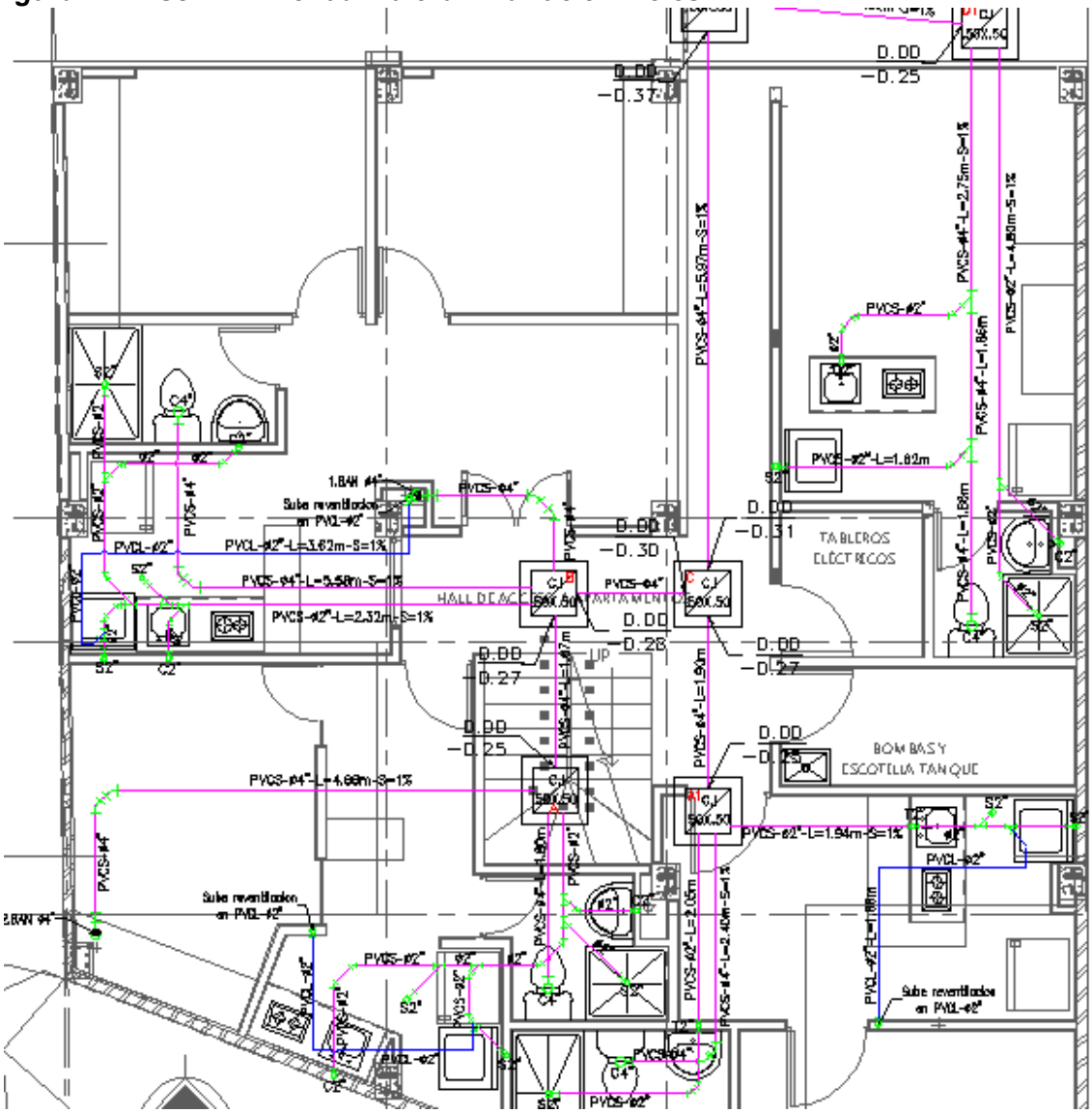
Conjuntamente, el desarrollo de las redes desagües y de ventilación es presentado en las siguientes imágenes para cada uno de las bajantes seleccionadas de los planos de diseño, a partir de esta información se aplica la tabla 2. Unidades de desagües de aparatos individuales y en grupo para determinar las unidades de desagüe que se establecen por aparato y la cantidad total que es recolectada por cada bajante.

Figura 10. Piso 3 (izquierda) y Piso 2 (derecha) - Vivienda multifamiliar de 3 niveles



Fuente: Planos de diseño vivienda 27 pisos (Anexos 1)

Figura 11. Piso 1 - Vivienda multifamiliar de 3 niveles



Fuente: Planos de diseño vivienda 27 pisos (Anexos 1)

.

Tabla 5. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAN1 – Nodo 1

Edificio de Vivienda 3 Niveles						
Bajante a evaluar	Nodo		Aparatos	Numero de Aparatos	Unidades de desagüe por aparato	Unidades de desagüe total por Aparato
	De	A				
B.A.N 1	Piso 3	Piso 2	Lavaplatos	2	2	4
			Ducha	2	3	6
			Tina	1	2	2
			Lavamanos	3	1	3
			Inodoro	2	4	8

			Sifón	2	3	6
			Lavadero	1	2	2
			Nevecon	1	1	1
			Lavadora	1	2	2
				Un. desagüe total por nodo		34

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAN1 – Nodo 2

Edificio de Vivienda 3 Niveles						
Bajante a evaluar	Nodo		Aparatos	Numero de Aparatos	Unidades de desagüe por aparato	Unidades de desagüe total por Aparato
	De	A				
B.A.N 1	Piso 2	Piso 1	Lavaplatos	3	2	6
			Ducha	3	3	9
			Lavamanos	3	1	3
			Inodoro	3	4	12
			Sifón	2	3	6
			Secadora	1	2	2
			Lavadora	3	2	6
				Un. desagüe total por nodo		44

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAN2 – Nodo 1

Edificio de Vivienda 3 Niveles						
Bajante a evaluar	Nodo		Aparatos	Numero de Aparatos	Unidades de desagüe por aparato	Unidades de desagüe total por Aparato
	De	A				
B.A.N 2	Piso 2	Piso 1	Lavaplatos	1	2	2
			Ducha	1	3	3
			Lavamanos	1	1	1
			Inodoro	1	4	4
				Un. desagüe total por nodo		10

Fuente: Elaboración propia

En resumen, con la evaluación de los aparatos y unidades que son recogidos por medio de las bajantes en cada piso se compila la información en las tablas 5 y 6 de las cuales se parte para el cálculo de caudal en las bajantes por cada nodo.

Así finalmente por medio del valor de caudal y los datos de diámetro de la bajante se determina la relación de áreas en cada nodo y con este valor se calculo por ultimo la velocidad del aire teniendo en cuenta que el valor para la relación de aire es *1-r.*

Tabla 8. Condiciones de flujo real edificio de 3 niveles

Bajante	**Nodo**		**Diámetro (pulg)**	**Unidades de Desagües**	**Unidades acumuladas**	**Caudal en Bajante (L/s)**	**Velocidad de agua en el nodo (m/s)**	**Relación de áreas r**	**Velocidad de aire en el nodo UC (m/s)**
	De	A							
B.A.N 1	Piso 3	Piso 2	4	34	34	1.552	1.890	0.520	1.657

B.A.N 1	Piso 2	Piso 1	4	44	78	2.354	2.233	0.574	1.355
B.A.N 2	Piso 2	Piso 1	4	10	10	0.929	1.539	0.460	2.018

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Características de la red de desagües, de las bajante y ventilaciones para un edificio de vivienda de 27 pisos

Para el procedimiento de estimación de los transitorios de presión que se presentan en las redes de desagüe y de forma específica en las bajantes se realiza la evaluación de un proyecto de vivienda que consta de dos torres de diferente altura, la torre 1 con 21 pisos y la torre 2 con 27 pisos, sumado a esto las redes de desagüe cuentan con 53 bajantes de 6 y 4 pulgadas repartidas en 22 para la torre 1 y 31 en la torre 2, razón por la cual se toman 2 bajantes de la torre 2 para determinar que sucede con un mayor número de piso objetivo trasversal del proyecto.

A continuación, se muestran apartes de las redes y bajantes tomadas para el análisis con base a los planos de diseño, en donde para la torre 2 los pisos por debajo del nivel 4 no se presentan pues desde este nivel hasta el primer piso el desarrollo arquitectónico consiste en parqueaderos y otras zonas en donde no se presenta recolección de aguas servidas y que en consecuencia genera dentro del análisis la reducción de 3 nodos en el proceso.

Figura 12. Piso 27 - Vivienda multifamiliar de 27 niveles - B.A.R 1

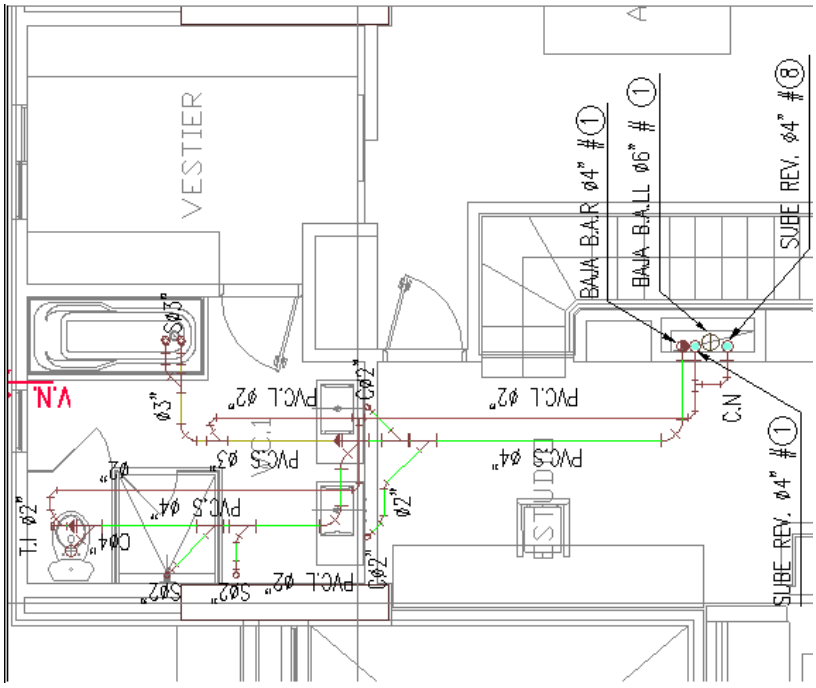
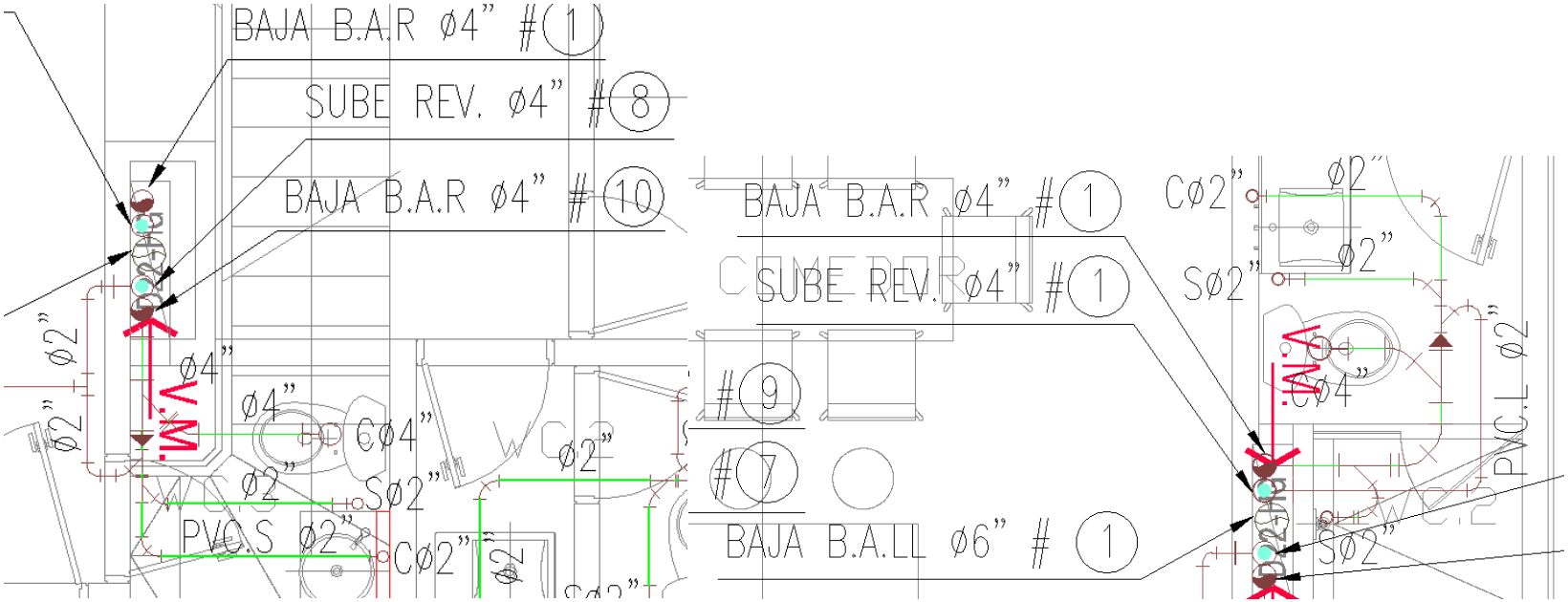
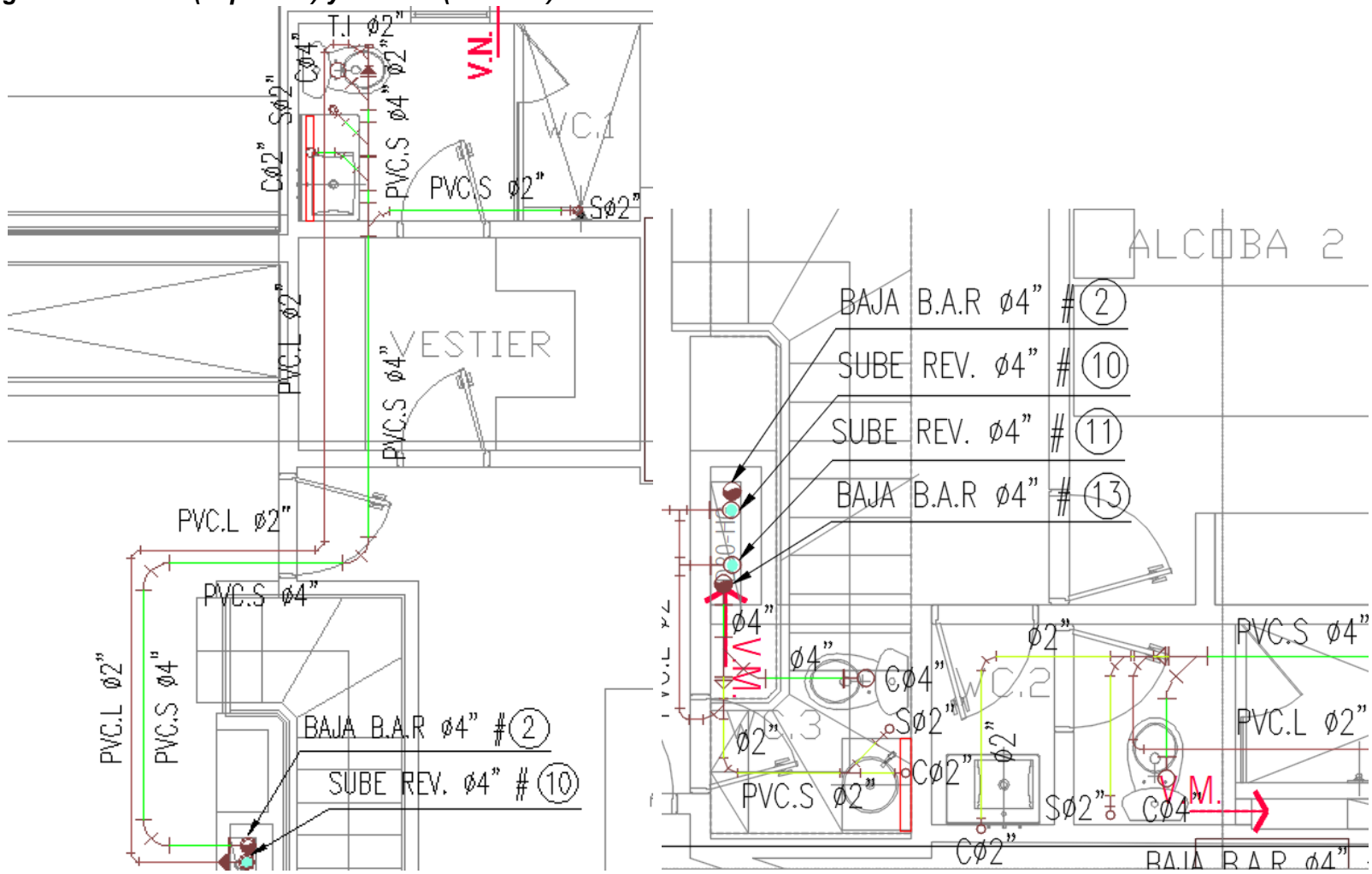

VESTIER
BAJA B.A.R ø4" #①
BAJA B.A.LL ø6" #①
SUBE REV. ø4" #⑧
SUBE REV. ø4" #①
V.N.
C.N
PVC.L ø2"
PVC.S ø3
PVC.S ø4"
PVC.L ø2"
PVC.S ø4"
PVC.L ø2"
PVC.L ø2"
ø2"
ø3"
ø2"
ø2"
ø2

Figura 13. Piso 26(izquierda) y Pisos tipo 25 a 4 (derecha) - Vivienda multifamiliar de 27 niveles - B.A.R 1



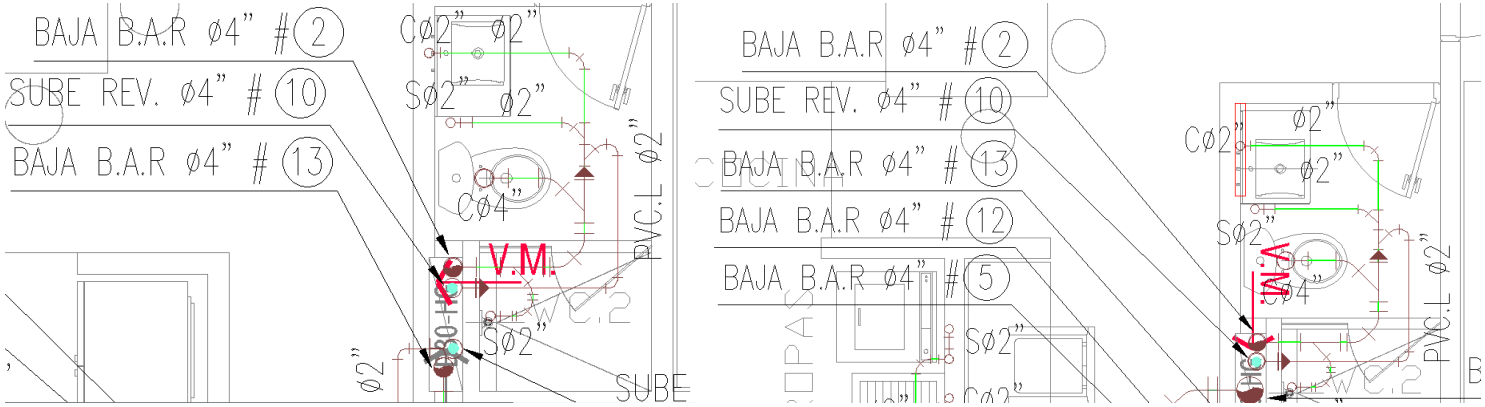
Fuente: Planos de diseño vivienda 27 pisos (Anexos 1)

Figura 14. Piso 27(izquierda) y Piso 26 (derecha) - Vivienda multifamiliar de 27 niveles- B.A.R 2



Fuente: Planos de diseño vivienda 27 pisos (Anexos 1)

Figura 15. Piso 25 a 5 (izquierda) y Piso 4 (derecha) - Vivienda multifamiliar de 27 niveles- B.A.R 2



Fuente: Planos de diseño vivienda 27 pisos (Anexos 1)

Basándose en las imágenes previas se realiza la evaluación de los aparatos y unidades que son recogidos por medio de las bajantes escogidas para el análisis, en este caso de diseño específicamente se pudo evidenciar en los planos que las redes para la bajante 1 recogen las aguas servidas de aparatos distintos en el piso 27 con respecto a los pisos 25 a 4, en donde se repite la configuración de recolección por lo que en las siguientes tablas se muestra para las dos bajantes los aparatos y unidades recolectadas para las dos configuraciones (mismos aparatos y distintas aparatos por piso) en el caso de la bajante 1 y para la bajante 2 en el nodo inicial.

Tabla 9. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR1 – Nodo 1

Edificio de Vivienda 27 Niveles						
Bajante a evaluar	Nodo		Aparatos	Numero de Aparatos	Unidades de desagüe por aparato	Unidades de desagüe total por Aparato
	De	A				
B.A.R 1	Piso 27	Piso 25	Lavaplatos	2	2	4
			Ducha	2	3	6
			Tina	1	2	2
			Lavamanos	3	1	3
			Inodoro	2	4	8
			Sifón	2	3	6
			Lavadero	1	2	2
			Nevecon	1	1	1
			Lavadora	1	2	2
Un. desagüe total por nodo						34

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR1 – Nodo 2

Edificio de Vivienda 27 Niveles						
Bajante a evaluar	Nodo		Aparatos	Numero de Aparatos	Unidades de desagüe por aparato	Unidades de desagüe total por Aparato
	De	A				
B.A.R 1	Piso 25	Piso 24	Ducha	1	3	3
			Lavamanos	1	1	1
			Inodoro	1	4	4
			Sifón	1	3	3
						11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR2 – Nodo 1

Edificio de Vivienda 27 Niveles						
Bajante a evaluar	Nodo		Aparatos	Numero de Aparatos	Unidades de desagüe por aparato	Unidades de desagüe total por Aparato
	De	A				
B.A.R 2	Piso 27	Piso 25	Ducha	1	3	3
			Lavamanos	1	1	1

			Inodoro	1	4	4
			Sifón	1	3	3
Un. desagüe total por nodo						11

Fuente: Elaboración propia

Aunque en los trazados de la red como se aprecia en los planos los tendidos de las tuberías son diferentes para los pisos 25 a 5 comparado con los del piso 4, en estos niveles se recogen los mismo aparatos e igual cantidad de los mismos razón por la cual son mostradas las unidades del último tramo en donde se presenta la igualdad en las unidades con respecto al nodo 2 en la bajante 1 y en nodo 1 en la bajante 2, el planteamiento total de cada uno de los nodos es incluido en el anexo 2.

Tabla 12. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR1 – Nodo 23

Edificio de Vivienda 27 Niveles						
Bajante a evaluar	Nodo		Aparatos	Numero de Aparatos	Unidades de desagüe por aparato	Unidades de desagüe total por Aparato
	De	A				
B.A.R 1	Piso 4	Piso 3	Ducha	1	3	3
			Lavamanos	1	1	1
			Inodoro	1	4	4
			Sifón	1	3	3
Un. desagüe total por nodo						11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Aparatos y unidades recolectadas por nodo – BAR2 – Nodo 23

Edificio de Vivienda 27 Niveles						
Bajante a evaluar	Nodo		Aparatos	Numero de Aparatos	Unidades de desagüe por aparato	Unidades de desagüe total por Aparato
	De	A				
B.A.R 2	Piso 4	Piso 3	Ducha	1	3	3
			Lavamanos	1	1	1
			Inodoro	1	4	4
			Sifón	1	3	3
Un. desagüe total por nodo						11

Fuente: Elaboración propia

Para terminar, teniendo las unidades de desagüe de cada uno de los nodos en las bajantes analizadas se calcula el caudal de agua, la velocidad de agua, la relación de área y como se aclara anteriormente el resultado de velocidad de aire en cada bajante de acuerdo a la relación de áreas calculada.

Tabla 14. Condiciones de flujo real edificio de 27 niveles – BAR1

Edificio de Vivienda 27 Niveles									
Bajante	Nodo		Diámetro (pulg)	Unidades de Desagües	Unidades acumuladas	Caudal en Bajante	Velocidad de agua en el nodo (m/s)	Relación de áreas r	Velocidad de aire en el nodo UC (m/s)
	De	A							

B.A.R 1	Piso 27	Piso 25	4	34	34	1.552	1.890	0.520	1.657
B.A.R 1	Piso 24	Piso 23	4	11	45	1.745	1.981	0.535	1.573
B.A.R 1	Piso 23	Piso 22	4	11	56	1.913	2.055	0.546	1.506
B.A.R 1	Piso 22	Piso 21	4	11	67	2.062	2.117	0.556	1.452
B.A.R 1	Piso 21	Piso 20	4	11	78	2.197	2.172	0.565	1.405
B.A.R 1	Piso 20	Piso 19	4	11	89	2.547	2.304	0.585	1.297
B.A.R 1	Piso 19	Piso 18	4	11	100	2.731	2.369	0.595	1.246
B.A.R 1	Piso 18	Piso 17	4	11	111	2.908	2.429	0.604	1.200
B.A.R 1	Piso 17	Piso 16	4	11	122	3.077	2.485	0.613	1.159
B.A.R 1	Piso 16	Piso 15	4	11	133	3.240	2.537	0.620	1.121
B.A.R 1	Piso 15	Piso 14	4	11	144	3.398	2.586	0.627	1.086
B.A.R 1	Piso 14	Piso 13	4	11	155	3.551	2.632	0.634	1.054
B.A.R 1	Piso 13	Piso 12	4	11	166	3.700	2.675	0.640	1.024
B.A.R 1	Piso 12	Piso 11	4	11	177	3.845	2.717	0.646	0.996
B.A.R 1	Piso 11	Piso 10	4	11	188	3.986	2.756	0.652	0.970
B.A.R 1	Piso 10	Piso 9	4	11	199	4.124	2.794	0.657	0.945
B.A.R 1	Piso 9	Piso 8	4	11	210	4.259	2.830	0.662	0.922
B.A.R 1	Piso 8	Piso 7	4	11	221	4.392	2.865	0.667	0.900
B.A.R 1	Piso 7	Piso 6	4	11	232	4.521	2.899	0.672	0.879
B.A.R 1	Piso 6	Piso 5	4	11	243	4.648	2.931	0.676	0.859
B.A.R 1	Piso 5	Piso 4	4	11	254	4.773	2.962	0.681	0.840
B.A.R 1	Piso 4	Piso 3	4	11	265	4.896	2.992	0.685	0.821
B.A.R 1	Piso 4	Piso 3	4	11	276	5.017	3.022	0.689	0.804

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Condiciones de flujo real edificio de 27 niveles – BAR1

Bajante	Nodo		Diámetro (pulg)	Unidades de Desagües	Unidades acumuladas	Caudal en Bajante	Velocidad de agua en el nodo (m/s)	Relación de áreas r	Velocidad de aire en el nodo UC (m/s)
	De	A							
B.A.R 2	Piso 27	Piso 25	4	11	11	0.967	1.564	0.464	1.990
B.A.R 2	Piso 25	Piso 24	4	11	22	1.293	1.757	0.497	1.787
B.A.R 2	Piso 24	Piso 23	4	11	33	1.532	1.880	0.518	1.666
B.A.R 2	Piso 23	Piso 22	4	11	44	1.729	1.973	0.533	1.579
B.A.R 2	Piso 22	Piso 21	4	11	55	1.898	2.048	0.546	1.512
B.A.R 2	Piso 21	Piso 20	4	11	66	2.130	2.145	0.561	1.428
B.A.R 2	Piso 20	Piso 19	4	11	77	2.336	2.226	0.573	1.361
B.A.R 2	Piso 19	Piso 18	4	11	88	2.530	2.298	0.584	1.302
B.A.R 2	Piso 18	Piso 17	4	11	99	2.715	2.364	0.594	1.250
B.A.R 2	Piso 17	Piso 16	4	11	110	2.892	2.424	0.604	1.204

B.A.R 2	Piso 16	Piso 15	4	11	121	3.062	2.480	0.612	1.162
B.A.R 2	Piso 15	Piso 14	4	11	132	3.226	2.532	0.620	1.124
B.A.R 2	Piso 14	Piso 13	4	11	143	3.384	2.581	0.627	1.089
B.A.R 2	Piso 13	Piso 12	4	11	154	3.537	2.628	0.633	1.057
B.A.R 2	Piso 12	Piso 11	4	11	165	3.687	2.671	0.640	1.026
B.A.R 2	Piso 11	Piso 10	4	11	176	3.832	2.713	0.646	0.998
B.A.R 2	Piso 10	Piso 9	4	11	187	3.974	2.753	0.651	0.972
B.A.R 2	Piso 9	Piso 8	4	11	198	4.112	2.791	0.657	0.947
B.A.R 2	Piso 8	Piso 7	4	11	209	4.247	2.827	0.662	0.924
B.A.R 2	Piso 7	Piso 6	4	11	220	4.380	2.862	0.667	0.901
B.A.R 2	Piso 6	Piso 5	4	11	231	4.510	2.896	0.671	0.880
B.A.R 2	Piso 5	Piso 4	4	11	242	4.637	2.928	0.676	0.860
B.A.R 2	Piso 4	Piso 3	4	11	253	4.762	2.959	0.680	0.841

Fuente: Elaboración propia

6.2. APLICACION DEL MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS EN LAS BAJANTES CON BASE EN EL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN EL DISEÑO DE LAS REDES

Con base al análisis nodal en cada una de las bajantes tomadas para la evaluación y de forma primordial de los valores de velocidad de aire, velocidad acústica del aire y presión en cada una se aplicó el método de las características basado en la solución de las ecuaciones de continuidad y momento de Saint Venant,

A continuación se presenta el cálculo de cada una de las bajantes con base al número de nodos se realiza el número de iteraciones para determinar la presión al final de cada iteración y con el valor de este se determina la velocidad de aire y velocidad acústica del aire para el siguiente nodo, es importante aclarar que para la comparación se evaluara no solo las dos edificaciones de diferente altura sino también el comportamiento de la bajante evaluado desde el punto de vista de una bajante simple ventilada en el extremo superior ubicada en dos ciudades diferentes y una bajante con ventilación secundaria conectada piso a piso a la bajante principal.

6.2.1. Variables asociadas al criterio de Courant – Datos de entrada para la aplicación del método de las características

El criterio de Courant vincula la distancia intermodal, Δx, al paso de tiempo, Δt, en la ecuación 27, como para el desarrollo grafico de la ecuación de las características se debe imponer un paso de tiempo es importante evaluar las variables presentes en la ecuación mencionada, para esto se valida la distancia intermodal con el nivel de referencia de cada uno de los pisos en las dos edificaciones de vivienda pues cada bajante tiene una derivación por piso dentro de las configuración vertical de las bajantes.

Ahora bien, la ecuación también incluye la velocidad del aire y la velocidad acústica o velocidad de onda, en donde la velocidad de aire se toma de los resultados obtenidos en la validación de condiciones de flujo real y la velocidad acústica del aire es calculada a partir de la presión absoluta con ayuda de la ecuación 15.

Debido a que la ecuación 15 relaciona los valores de densidad y relación de calores específicos para el proceso de cálculo se toman 1, 225 Kg/m^3 y 1,44 (para el aire) respectivamente, dejando como variable en la ecuación el valor de la presión que se evalúa nodo a nodo.

No obstante, en la valoración del paso de tiempo para el proceso práctico, es necesario utilizar el mismo paso de tiempo en todos los cálculos en cualquier momento en toda la red razón por la cual, en definición se toman el mayor valor en la suma de velocidad de aire y velocidad de onda

Por tanto, para la implementación de la metodología de las características en la iteración se aplica el valor Θ que relaciona la distancia intermodal y el paso de tiempo y que se encuentra vinculado con las ecuaciones 30 a 35 aplicadas para determinar lo valores de u, c y P una vez se da el paso de tiempo.

6.2.2. Evaluación de la presión relativa en las bajantes con ventilación Simple o primaria

Para iniciar el planteamiento de la metodología se deben validar los valores iniciales y de frontera que solicita el proceso entendiéndose estos valores como los valores conocidos al inicio de la evaluación y los valores de borde en inicio y fin en el paso del tiempo (aguas arriba y aguas debajo de la bajante).

Así que los valores del punto C en la figura 9 son los valores calculados anteriormente para la velocidad del aire, velocidad de onda y presión absoluta en donde para estas últimas se toma la presión atmosférica del lugar donde se encuentra localizado el proyecto de diseño, en este caso es la ciudad de Bogotá en donde la presión atmosférica es de 73359.3 pascales y la velocidad de onda es calculada basándose en la ecuación 15, de acuerdo a la presión ya establecida.

Ahora bien, la presión, velocidad de aire y velocidad de onda en la condición limite aguas arriba establece tomar para $\Delta t=0$, la presión atmosférica como presión inicial pues en este punto se encuentra la tubería vacía, la velocidad del aire se toma como 0,0 pues al no haberse iniciado el proceso de descarga y no fluir agua por la tubería no hay velocidad del agua y por tanto tampoco de aire y finalmente la velocidad de onda es tomada del promedio entre el cálculo con base a la presión y la relación de la velocidad acústica con la temperatura ambiental de igual forma relacionada con la localización.

Además, se tomaron como condiciones de borde la presión en el último nodo como la presión absoluta calculada con base en el nodo anterior, para la velocidad de onda se toma el valor calculado de la presión resultante de la iteración y velocidad del aire calculada a partir de la velocidad de onda.

Para el edificio de vivienda de tres (3) pisos se realizan 2 iteraciones con respecto a los nodos de la bajante 1 y 1 iteración para el nodo de la bajante 2 como se muestra en las siguientes tablas de acuerdo a los pisos que recoge cada bajante:

Tabla 16. Iteración 1 – Edificio 3 niveles Vent. Simple Bogota

Edificio de Vivienda 3 Niveles								
Bajante	Nodo		θ	Presión Absoluta del aire Pc (Pa)	Velocidad de onda inicial CC (m/s)	Velocidad de onda Cp (m/s)	Velocidad de aire Up (m/s)	Presión Absoluta del aire Pp (Pa)
	De	A						
B.A.N 1	Piso 3	Piso 2	0,00343	73407,37	289,64	303,016	61,591	**90080,597**
B.A.N 2	Piso 2	Piso 1	0,00343	73407,37	289,64	289,451	0,896	**66748,300**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Iteración 2 – Edificio 3 niveles Vent. Simple Bogota

Bajante	Nodo		θ	Velocidad de onda inicial CC (m/s)	Presión Absoluta del aire Pc (Pa)	Velocidad de onda Cp (m/s)	Velocidad de aire Up (m/s)	Presión Absoluta del aire Pp (Pa)
	De	A						
B.A.N 1	Piso 2	Piso 1	0,00350	289,73	67173,60	304,337	-1,940	**92683,524**

Fuente: Elaboración propia

También, para el caso del edificio de vivienda de 27 pisos se realizarán 22 iteraciones relacionadas con los nodos en las bajantes analizadas, de igual manera teniendo en cuenta cada nodo con respecto a las aguas recogidas por piso.

Para el nodo 1 se tiene el siguiente cálculo de presiones

Tabla 18. Iteración 1 – Edificio 27 niveles Vent. Simple Bogota

Edificio de Vivienda 27 Niveles								
Bajante	Nodo		θ	Presión Absoluta del aire Pc (Pa)	Velocidad de onda inicial CC (m/s)	Velocidad de onda Cp (m/s)	Velocidad de aire Up (m/s)	Presión Absoluta del aire Pp (Pa)
	De	A						
B.A.R 1	Piso 27	Piso 25	0,00343	73407,37	289,64	303,007	61,628	**90064,927**
B.A.R 2	Piso 27	Piso 25	0,00343	73407,37	289,64	302,974	61,590	**90000,038**

Fuente: Elaboración propia

Y en cada uno de los siguientes nodos desde la cubierta hasta el piso 3 se desarrolla en mismo proceso teniendo en cuenta para el cálculo el resultado de presión anterior, en este caso se muestran los resultados de la iteración inicial y final:

Tabla 19. Iteración 2 – Edificio 27 niveles Vent. Simple Bogota

Bajante	Nodo		θ	Velocidad de onda inicial CC (m/s)	Presión Absoluta del aire Pc (Pa)	Velocidad de onda Cp (m/s)	Velocidad de aire Up (m/s)	Presión Absoluta del aire Pp (Pa)
	De	A						
B.A.R 1	Piso 25	Piso 24	0,00343	289,65	67055,74	303,921	-1,271	**91856,700**
B.A.R 2	Piso 25	Piso 24	0,00343	289,65	67043,53	303,857	-1,221	**91730,696**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Iteración 23 – Edificio 27 niveles Vent. Simple Bogota

Bajante	Nodo		θ	Velocidad de onda inicial CC (m/s)	Presión Absoluta del aire Pc (Pa)	Velocidad de onda Cp (m/s)	Velocidad de aire Up (m/s)	Presión Absoluta del aire Pp (Pa)
	De	A						
B.A.R 1	Piso 4	Piso 1	0,00343	289,66853	67077,772	310,329	-3,090	**105299,517**
B.A.R 2	Piso 4	Piso 1	0,00343	289,73704	67181,672	289,657	-0,001	**67059,736**

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los demás procesos de iteración pueden ser validados en el anexo 1 cuadros de cálculo para cada iteración realizada en donde se muestran el cálculo de las variables de velocidad de onda, presión absoluta, y velocidad del aire.

Compilando los resultados de presión absoluta del aire en la bajante 1 se determina la variación de presión con respecto a la presión atmosférica (presión relativa) y el acumulado en la variación de presión relativa y de manera similar se desarrolla la tabla de resumen que aplica en el resto de los nodos en las bajantes analizadas para el edificio de vivienda de 27 pisos.

Tabla 21. Variación de la presión por nodo - BAR 1 Vent. Simple Bogota

Nodo		Nodo	Presión Absoluta del aire (Pa)	Presión Absoluta del aire (mca)	Variación de presión Relativa en el nodo (mca)	Variación acumulada de la presión Relativa en el nodo (mca)
De	A					
Piso 27	Piso 25	1	90064,927	9,184	-182,7151	-182,7151
Piso 25	Piso 24	2	91856,700	9,367	-204,9939	-387,7089
Piso 24	Piso 23	3	93866,948	9,572	-243,2203	-630,9293
Piso 23	Piso 22	4	96252,059	9,815	-293,1944	-924,1237
Piso 22	Piso 21	5	99127,235	10,108	-360,2096	-1284,3333
Piso 21	Piso 20	6	102659,588	10,469	-452,9385	-1737,2718
Piso 20	Piso 19	7	107101,275	10,922	-586,3243	-2323,5962
Piso 19	Piso 18	8	112850,994	11,508	-787,8632	-3111,4593
Piso 18	Piso 17	9	120577,079	12,296	-1112,6248	-4224,0842
Piso 17	Piso 16	10	131487,901	13,408	-1684,0212	-5908,1053
Piso 16	Piso 15	11	148002,053	15,092	-2825,7183	-8733,8236
Piso 15	Piso 14	12	175712,120	17,918	-5614,8562	-14348,6798
Piso 14	Piso 13	13	230773,534	23,533	-15477,8498	-29826,5296
Piso 13	Piso 12	14	382555,211	39,011	-107649,5396	-137476,0692
Piso 12	Piso 11	15	1438207,502	146,660	146660,3831	9184,3139

Piso 11	Piso 10	16	0,055	0,000	-206,9513	8977,3626
Piso 10	Piso 9	17	2029,498	0,207	-763,1853	8214,1773
Piso 9	Piso 8	18	9513,583	0,970	-802,3412	7411,8361
Piso 8	Piso 7	19	17381,645	1,772	-671,9039	6739,9322
Piso 7	Piso 6	20	23970,590	2,444	-540,1690	6199,7632
Piso 6	Piso 5	21	29267,693	2,985	-434,7305	5765,0327
Piso 5	Piso 4	22	33530,825	3,419	-7318,5713	-1553,5386

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Variación de la presión por nodo - BAR 2 Vent. Simple Bogota

Nodo		**Nodo**	**Presión Absoluta del aire (Pa)**	**Presión Absoluta del aire (mca)**	**Variación de presión Relativa en el nodo (mca)**	**variación acumulada de la presión Relativa en el nodo (mca)**
De	A					
Piso 25	Piso 24	1	90000,038	9,1777	0,0000	0,0000
Piso 24	Piso 23	2	91730,696	9,3542	-176,4829	-176,4829
Piso 23	Piso 22	3	93663,275	9,5513	-197,0736	-373,5565
Piso 22	Piso 21	4	95947,839	9,7842	-232,9671	-606,5235
Piso 21	Piso 20	5	98689,784	10,0638	-279,6083	-886,1318
Piso 20	Piso 19	6	102040,628	10,4055	-341,7004	-1227,8323
Piso 19	Piso 18	7	106226,558	10,8324	-426,8579	-1654,6901
Piso 18	Piso 17	8	111600,496	11,3804	-548,0042	-2202,6943
Piso 17	Piso 16	9	118744,184	12,1089	-728,4735	-2931,1679
Piso 16	Piso 15	10	128846,005	13,1390	-1030,1274	-3961,2953
Piso 15	Piso 14	11	143883,332	14,6724	-1533,4228	-5494,7181
Piso 14	Piso 13	12	168480,946	17,1807	-2508,3277	-8003,0457
Piso 13	Piso 12	13	215270,449	21,9521	-4771,3329	-12774,3786
Piso 12	Piso 11	14	332980,120	33,9555	-12003,3765	-24777,7551
Piso 11	Piso 10	15	931083,090	94,9467	-60991,2087	-85768,9638
Piso 10	Piso 9	16	1793336567823,890	182874472,31	-182874377368,69	-182874463137,65
Piso 9	Piso 8	17	573,071	0,0584	182874472256,92	9119,2639
Piso 8	Piso 7	18	6755,377	0,6889	-630,4371	8488,8267
Piso 7	Piso 6	19	14849,571	1,5143	-825,4007	7663,4260
Piso 6	Piso 5	20	21904,316	2,2337	-719,4037	6944,0223
Piso 5	Piso 4	21	27610,285	2,8155	-581,8629	6362,1594
Piso 4	Piso 3	22	67058,715	6,8383	-4022,7311	2339,4284

Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Evaluación de la presión relativa en las bajantes con ventilación Simple o primaria variando la localización del proyecto

Debido a que la presión atmosférica juega un papel importante en la aplicación del método de las características basado en la solución de la ecuación diferencial de continuidad y momento de Saint Venant, se realizó en el análisis la consideración de evaluar el sistema de bajantes con una presión atmosférica diferente a la implementada que como se describió en el capítulo 6.2.2 para el cálculo es la presión atmosférica de la ciudad de Bogotá.

Dado que se pretende varía el valor de presión atmosférica, para el empleo de la metodología se estableció cambiar el lugar de aplicación a la ciudad de Cartagena en la que la presión atmosférica tiene un valor de 101325 Pa, cambio que se explica con la diferencia de presión que hay entre esta ciudad y Bogotá con una diferencia de 27965 Pascales.

Ahora bien, como se describió anteriormente se deben tener en cuenta los valores iniciales y las condiciones de frontera en donde se realizan las mismas validaciones que en el calculo para la ciudad de Bogotá, pero se tiene en cuenta el valor de la presión atmosférica establecida y la temperatura ambiental de la nueva localización.

Es así como para el edificio de vivienda de tres (3) pisos se realizan de igual manera 2 iteraciones con respecto a los nodos de la bajante 1 y 1 iteración para el nodo de la bajante 2 como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 23. Iteración 1– Edificio 3 niveles Vent. Simple Cartagena

Edificio de Vivienda 3 Niveles								
Bajante	Nodo		θ	Presión Absoluta del aire Pc (Pa)	Velocidad de onda incial CC (m/s)	Velocidad de onda Cp (m/s)	Velocidad de aire Up (m/s)	Presión Absoluta del aire Pp (Pa)
	De	A						
B.A.N 1	Piso 3	Piso 2	0,00292	101373,07	340,37	342,097	8,723	**95652,587**
B.A.N 2	Piso 2	Piso 1	0,00292	101373,07	340,37	340,290	1,536	**92394,189**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Iteración 2– Edificio 3 niveles Vent. Simple Cartagena

Bajante	**Nodo**		**θ**	**Presión Absoluta del aire Pc (Pa)**	**Velocidad de onda inicial CC (m/s)**	**Velocidad de onda Cp (m/s)**	**Velocidad de aire Up (m/s)**	**presión Absoluta del aire Pp (Pa)**
	De	A						
B.A.N 1	Piso 2	Piso 1	0,00298	340,45	92685,11	342,142	-0,036	**95735,693**

Fuente: Elaboración propia

Conjuntamente para las bajantes del edificio de 27 pisos se aplica el mismo procedimiento, a continuación, se muestra en las siguientes tablas el primer y último procesos de iteración de acuerdo a los nodos de las bajantes en estudio, los demás procesos de cálculo intermedios podrán ser validados en el anexo 2.

Tabla 25. Iteración 1– Edificio 27 niveles Vent. Simple Cartagena

Edificio de Vivienda 27 Niveles								
Bajante	**Nodo**		**θ**	**Presión Absoluta del aire Pc (Pa)**	**Velocidad de onda inicial CC (m/s)**	**Velocidad de onda Cp (m/s)**	**Velocidad de aire Up (m/s)**	**Presión Absoluta del aire Pp (Pa)**
	De	A						
B.A.R 1	Piso 27	Piso 25	0,00292	101373,07	340,37	342,086	8,770	**95633,591**
B.A.R 2	Piso 27	Piso 25	0,00292	101373,07	340,37	342,071	8,826	**95604,470**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Iteración 23– Edificio 27 niveles Vent. Simple Cartagena

Bajante	Nodo		θ	Velocidad de onda inicial CC (m/s)	Presión Absoluta del aire Pc (Pa)	Velocidad de onda Cp (m/s)	Velocidad de aire Up (m/s)	Presión Absoluta del aire Pp (Pa)
	De	A						
B.A.R 1	Piso 4	Piso 1	0,00292	340,45914	92694,904	342,101	-0,001	**95659,448**
B.A.R 2	Piso 4	Piso 1	0,00292	340,45470	92686,980	340,392	-0,001	**92575,523**

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, una vez obtenidos los datos en los diferentes procesos de iteración se genera la tabla que agrupa los resultados para el análisis con la variación de presion.

Tabla 27. Variación de la presión Relativa por nodo - BAR 1 Vent. Simple Cartagena

Nodo		Nodo	Presión Absoluta del aire (Pa)	Presión Absoluta del aire (mca)	Variación de presión Relativa en el nodo (mmca)	Variación acumulada de la presión Relativa en el nodo (mmca)
De	A					
Piso 27	Piso 25	1	95633,591	9,7522	0,0000	0,0000
Piso 25	Piso 24	2	95642,024	9,7530	0,8599	0,8599
Piso 24	Piso 23	3	95642,848	9,7531	0,0840	0,9439
Piso 23	Piso 22	4	95643,667	9,7532	0,0836	1,0275
Piso 22	Piso 21	5	95644,493	9,7533	0,0842	1,1116
Piso 21	Piso 20	6	95645,324	9,7534	0,0848	1,1965
Piso 20	Piso 19	7	95646,162	9,7535	0,0854	1,2819
Piso 19	Piso 18	8	95647,007	9,7535	0,0861	1,3680
Piso 18	Piso 17	9	95647,857	9,7536	0,0867	1,4547
Piso 17	Piso 16	10	95648,714	9,7537	0,0874	1,5421
Piso 16	Piso 15	11	95649,578	9,7538	0,0881	1,6302
Piso 15	Piso 14	12	95650,448	9,7539	0,0887	1,7189
Piso 14	Piso 13	13	95651,324	9,7540	0,0894	1,8083
Piso 13	Piso 12	14	95652,207	9,7541	0,0901	1,8983
Piso 12	Piso 11	15	95653,097	9,7542	0,0907	1,9891
Piso 11	Piso 10	16	95653,994	9,7543	0,0914	2,0805
Piso 10	Piso 9	17	95654,897	9,7544	0,0921	2,1726
Piso 9	Piso 8	18	95655,807	9,7544	0,0928	2,2654
Piso 8	Piso 7	19	95656,724	9,7545	0,0935	2,3589
Piso 7	Piso 6	20	95657,648	9,7546	0,0942	2,4531
Piso 6	Piso 5	21	95658,579	9,7547	0,0949	2,5481
Piso 5	Piso 4	22	95659,517	9,7548	0,0957	2,6438

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Variación de la presión Relativa por nodo - BAR 2 Vent. Simple Cartagena

Nodo		Nodo	Presión Absoluta del aire (Pa)	Presión Absoluta del aire (mca)	Variación de presión en el nodo (mmca)	Variación acumulada de la presión en el nodo (mmca)
De	A					
Piso 27	Piso 25	1	95604,470	9,7496	0,0000	0,0000
Piso 25	Piso 24	2	95608,297	9,7492	0,3902	0,3902
Piso 24	Piso 23	3	95604,325	9,7488	-0,4050	-0,0148
Piso 23	Piso 22	4	95600,320	9,7484	-0,4084	-0,4232
Piso 22	Piso 21	5	95596,292	9,7480	-0,4108	-0,8340
Piso 21	Piso 20	6	95592,241	9,7475	-0,4131	-1,2471
Piso 20	Piso 19	7	95588,166	9,7471	-0,4155	-1,6626
Piso 19	Piso 18	8	95584,069	9,7467	-0,4178	-2,0805
Piso 18	Piso 17	9	95579,948	9,7467	-0,4202	-2,5007
Piso 17	Piso 16	10	95580,290	9,7468	0,0348	-2,4658
Piso 16	Piso 15	11	95580,631	9,7468	0,0348	-2,4310
Piso 15	Piso 14	12	95580,975	9,7469	0,0351	-2,3960
Piso 14	Piso 13	13	95581,321	9,7469	0,0353	-2,3606
Piso 13	Piso 12	14	95581,670	9,7469	0,0356	-2,3251
Piso 12	Piso 11	15	95582,021	9,7470	0,0358	-2,2892
Piso 11	Piso 10	16	95582,375	9,7470	0,0361	-2,2532
Piso 10	Piso 9	17	95582,732	9,7470	0,0363	-2,2168
Piso 9	Piso 8	18	95583,091	9,7471	0,0366	-2,1802
Piso 8	Piso 7	19	95583,452	9,7471	0,0369	-2,1433
Piso 7	Piso 6	20	95583,816	9,7471	0,0371	-2,1062
Piso 6	Piso 5	21	95584,183	9,7472	0,0374	-2,0688
Piso 5	Piso 4	22	95584,548	9,4403	0,0372	-2,0316
Piso 4	Piso 3	23	92575,523	9,4403	-306,8436	-308,8752

Fuente: Elaboración propia

6.2.4. Evaluación de la presión relativa en las bajantes con ventilación Secundaria

En el análisis de las bajantes para determinar su comportamiento frente a los transitorios de presión que se presenta en el funcionamiento normal de una bajante para tener en cuenta las condiciones de flujo real se plantea para esta última fase del análisis la bajante con ventilación secundaria como se encuentra en diseños, siendo esta ventilación la tubería paralela que conecta la bajante en cada uno de los nodos

Específicamente en el análisis implica la adición de aire en la bajante, dicha adición se incorpora dentro de cada iteración en el proceso agregando la velocidad de aire relacionado a la tubería de ventilación (calculada con base en el diámetro de la ventilación) que en este caso para las bajantes en diseño se plantea de 2” por lo que en este caso se adicionan de 6,571 m/s a el valor de velocidad en cada nodo en el que se evalúa el transitorio de presión.

Como en los anteriores procesos el valor de la condiciones iniciales y condiciones de borde se mantiene de acuerdo a lo descrito para el proceso de análisis inicial en la ciudad de Bogotá.

Por consiguiente, para la vivienda de 3 piso se realizaron 2 iteraciones para una de las bajantes y una iteración para la otra como en los anteriores procesos.

Tabla 29. Iteración 1– Edificio 3 niveles Vent. Secundaria Bogotá

Edificio de Vivienda 3 Niveles								
Bajante	Nodo		θ	Presión Absoluta del aire Pc (Pa)	Velocidad de onda inicial CC (m/s)	Velocidad de onda Cp (m/s)	Velocidad de aire Up (m/s)	Presión Absoluta del aire Pp (Pa)
	De	A						
B.A.N 1	Piso 3	Piso 2	0,00343	73407,37	289,64	303,016	61,591	**90080,597**
B.A.N 2	Piso 2	Piso 1	0,00343	73407,37	289,64	302,887	61,970	**89830,786**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Iteración 2– Edificio 3 niveles Vent. Secundaria Bogotá

Bajante	**Nodo**		**θ**	**Velocidad de onda inicial CC (m/s)**	**Presión Absoluta del aire Pc (Pa)**	**Velocidad de onda Cp (m/s)**	**Velocidad de aire Up (m/s)**	**Presión Absoluta del aire Pp (Pa)**
	De	A						
B.A.N 1	Piso 2	Piso 1	0,00350	289,73	67173,60	304,337	-1,940	**92683,524**

Fuente: Elaboración propia

Así mismo se realiza el análisis para la edificación de vivienda de 27 niveles, para el proceso se presentan la primera y última iteración, teniendo claro que las iteraciones intermedias se encuentran desarrolladas en el anexo 2.

Tabla 31. Iteración 1– Edificio 27 niveles Vent. Secundaria Bogotá

Edificio de Vivienda 27 Niveles								
Bajante	**Nodo**		**θ**	**Presión Absoluta del aire Pc (Pa)**	**Velocidad de onda inicial CC (m/s)**	**Velocidad de onda Cp (m/s)**	**Velocidad de aire Up (m/s)**	**Presión Absoluta del aire Pp (Pa)**
	De	A						
B.A.R 1	Piso 27	Piso 25	0,00336	73407,37	289,64	302,619	59,994	**89311,217**
B.A.R 2	Piso 27	Piso 25	0,00335	73407,37	289,64	302,590	59,970	**89254,830**

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Iteración 23– Edificio 27 niveles Vent. Secundaria Bogotá

Bajante	**Nodo**		**θ**	**Velocidad de onda inicial CC (m/s)**	**Presión Absoluta del aire Pc (Pa)**	**Velocidad de onda Cp (m/s)**	**Velocidad de aire Up (m/s)**	**Presión Absoluta del aire Pp (Pa)**
	De	A						
B.A.R 1	Piso 4	Piso 1	0,00336	289,79560	67270,607	289,393	0,957	**66661,916**
B.A.R 2	Piso 4	Piso 1	0,00336	289,78875	67260,202	289,606	-0,085	**66983,646**

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se resume el valor calculado de presiones donde se evalúa la variación de la presión relativa en cada nodo y la variación de presión relativa acumulada.

Tabla 33. Variación de la presión Relativa por nodo - BAR 1 Vent. Secundaria Bogotá

Nodo		Nodo	Presión Absoluta del aire (Pa)	Presión Absoluta del aire (mca)	variación de presión Relativa en el nodo (mmca)	variación acumulada de la presión Relativa en el nodo (mmca)
De	A					
Piso 27	Piso 25	1	89311,217	9,107	0,0000	0,0000
Piso 25	Piso 24	2	90047,347	9,183	-75,0665	-75,0665
Piso 24	Piso 23	3	90780,500	9,257	-74,7628	-149,8293
Piso 23	Piso 22	4	91595,564	9,340	-83,1157	-232,9450
Piso 22	Piso 21	5	92506,488	9,433	-92,8910	-325,8360
Piso 21	Piso 20	6	93530,321	9,538	-104,4047	-430,2407
Piso 20	Piso 19	7	94688,389	9,656	-118,0934	-548,3341
Piso 19	Piso 18	8	96007,731	9,790	-134,5391	-682,8732
Piso 18	Piso 17	9	97523,138	9,945	-154,5327	-837,4059
Piso 17	Piso 16	10	99280,137	10,124	-179,1690	-1016,5750
Piso 16	Piso 15	11	101339,471	10,334	-209,9993	-1226,5743
Piso 15	Piso 14	12	103783,995	10,583	-249,2790	-1475,8533
Piso 14	Piso 13	13	106729,707	10,884	-300,3872	-1776,2405
Piso 13	Piso 12	14	110344,030	11,252	-368,5686	-2144,8091
Piso 12	Piso 11	15	114877,695	11,715	-462,3179	-2607,1270
Piso 11	Piso 10	16	120723,356	12,311	-596,1079	-3203,2349
Piso 10	Piso 9	17	128531,352	13,107	-796,2160	-3999,4509
Piso 9	Piso 8	18	139459,129	14,221	-1114,3537	-5113,8046
Piso 8	Piso 7	19	155773,920	15,885	-1663,6916	-6777,4962
Piso 7	Piso 6	20	182556,275	18,616	-2731,1154	-9508,6116
Piso 6	Piso 5	21	233761,564	23,838	-5221,6301	-14730,2416
Piso 5	Piso 4	22	364064,807	37,125	-13287,5988	-28017,8404
Piso 4	Piso 1	23	66661,886	6,798	30327,4929	2309,6526

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Variación de la presión por nodo - BAR 2 Vent. Secundaria Bogotá

Nodo		Nodo	Presión Absoluta del aire (Pa)	presión Absoluta del aire (mca)	variación de presión Relativa en el nodo (mmca)	variación acumulada de la presión Relativa en el nodo (mmca)
De	A					
Piso 27	Piso 25	1	89254,830	9,1017	0,0000	0,0000
Piso 25	Piso 24	2	89941,838	9,1718	-70,0573	-70,0573
Piso 24	Piso 23	3	90618,445	9,2408	-68,9967	-139,0539
Piso 23	Piso 22	4	91368,306	9,3172	-76,4666	-215,5206
Piso 22	Piso 21	5	92203,415	9,4024	-85,1598	-300,6803
Piso 21	Piso 20	6	93138,283	9,4977	-95,3326	-396,0129
Piso 20	Piso 19	7	94190,893	9,6051	-107,3393	-503,3522
Piso 19	Piso 18	8	95383,810	9,7267	-121,6471	-624,9993
Piso 18	Piso 17	9	96745,733	9,8656	-138,8813	-763,8806
Piso 17	Piso 16	10	98381,147	10,0324	-166,7703	-930,6510

Piso 16	Piso 15	11	100287,622	10,2268	-194,4118	-1125,0627
Piso 15	Piso 14	12	102536,473	10,4561	-229,3253	-1354,3880
Piso 14	Piso 13	13	105226,179	10,7304	-274,2812	-1628,6692
Piso 13	Piso 12	14	108496,743	11,0639	-333,5139	-1962,1831
Piso 12	Piso 11	15	112553,996	11,4776	-413,7360	-2375,9191
Piso 11	Piso 10	16	117713,142	12,0037	-526,1011	-2902,0202
Piso 10	Piso 9	17	124481,692	12,6939	-690,2190	-3592,2392
Piso 9	Piso 8	18	133730,442	13,6371	-943,1360	-4535,3751
Piso 8	Piso 7	19	147083,126	14,9987	-1361,6324	-5897,0075
Piso 7	Piso 6	20	167931,844	17,1248	-2126,0361	-8023,0436
Piso 6	Piso 5	21	204636,057	20,8676	-3742,8912	-11765,9348
Piso 5	Piso 4	22	284043,808	28,9652	-8097,5601	-19863,4949
Piso 4	Piso 1	23	66983,646	6,8306	22134,5861	2271,0912

Fuente: Elaboración propia

6.3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS BAJANTES ACORDE A LOS RESULTADOS DE APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS COMO SOLUCIÓN A LAS ECUACIONES DE CONTINUIDAD Y MOMENTO DE ST VENANT

De acuerdo a los resultados de presión relativa en cada una de las localizaciones y sistemas de ventilación en análisis para las bajantes en las dos edificaciones de 3 y 27 pisos se evalúa cada una de las características relacionadas con los resultados de la aplicación del método de las Características, inicialmente se valora el comportamiento a partir de graficas de los resultados con las que se tiene como finalidad describir el comportamiento y la concentración de presión relativa en los nodos de las bajantes, en especial de las bajantes del edificio de vivienda de 27 niveles pues estas aportan un mayor número de datos y permite definir una ubicación precisa del aumento de presión en cada nodo.
Por otra parte, se determina la posible pérdida de los sellos de agua con base en los resultados de presión comparan el valor limite que se tiene para la perdida de la lámina de agua, de este proceso se evalúa no solo que pasa con el aumento de presión, sino que también que inferencia tiene el valor de la presión sobre el comportamiento de la red.

Adicionalmente se determina la correlación que existe entre la amplitud de los transitorios de presión con respecto a la presión atmosférica que se asocia en el proceso al lugar de localización, para el proceso de análisis se evalúa además el comportamiento en dos localizaciones de altitud intermedia (entre la altitud de Bogotá y Cartagena) cuya finalidad es determinar desde que punto se genera un aumento en los transitorios de presión de forma significativa.

6.3.1. Concentración de los transitorios y comportamiento de la presión en las bajantes analizadas

Inicialmente para el proceso de análisis de las bajantes con ventilación simple se aprecia un aumento de presión en la media que el flujo aumenta y avanza dentro de la tubería y a su vez la regulación de la presión, situación que se puede apreciar en las siguientes graficas desarrolladas para cada una de las bajantes en análisis a excepción de las relacionadas a la vivienda de 3 niveles pues a contar con 1 y 2 nodos de estos no es posible generar una gráfica que arroje una amplia información.

Adicionalmente para este caso se observa que el valor del pico de presión en la bajante 1 está por encima de los 130 m.c.a (1274829.4 Pa), presión que supera la presión de prueba aplicada a las tuberías sanitarias de 350000 Pa[14], y proporciona al análisis la deducción de una falla en el sistema de tuberías por el aumento significativo de la presión

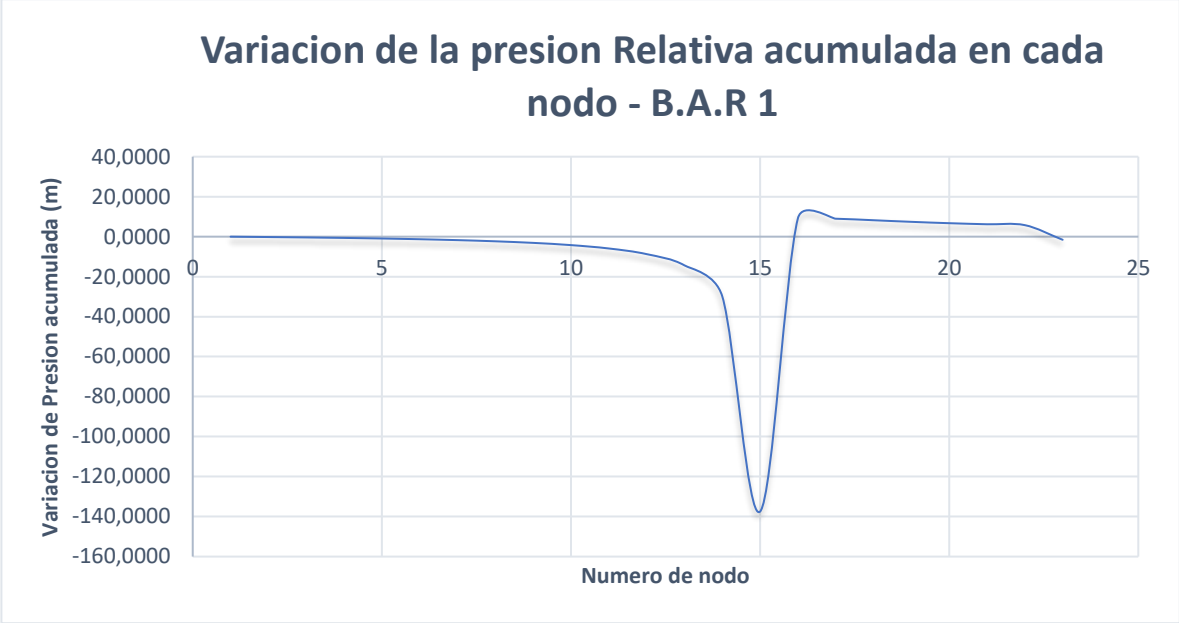
Figura 16. Variación de la presión vent. bajante Bogotá – BAR 1



Fuente: Elaboración propia

[14] PAVCO WAVIN. Manual técnico tubosistemas sanitarios P 8

Figura 17. Variación acumulada de la presión vent. simple Bogotá – BAR 1



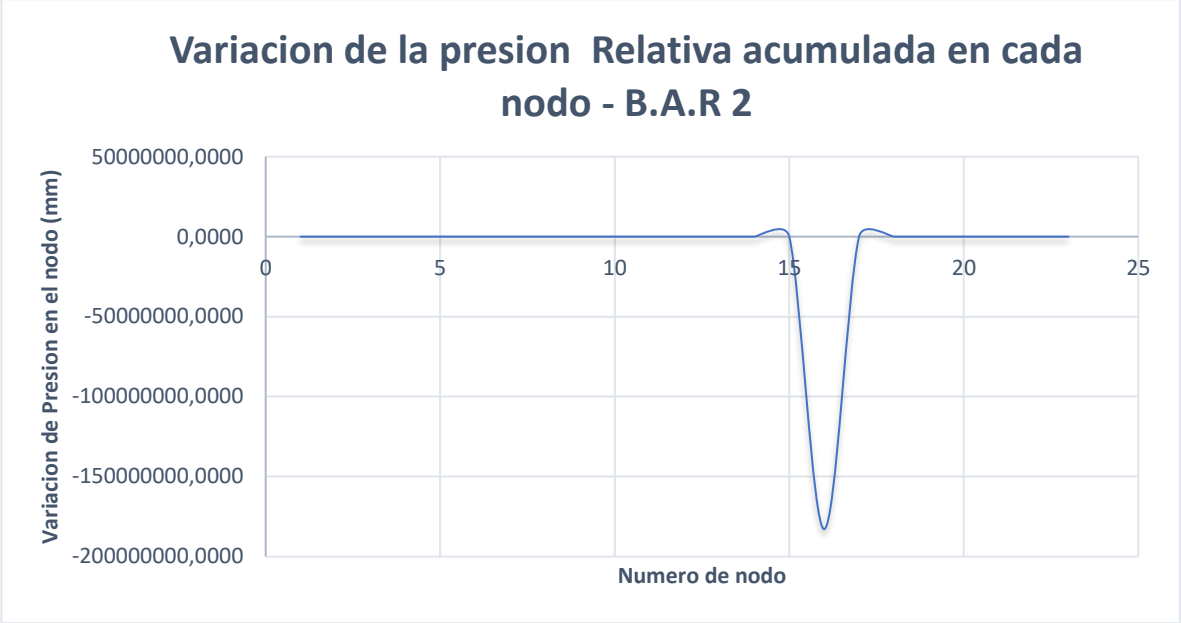
Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Variación de la presión Relativa vent. simple Bogotá – BAR 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Bogotá – BAR 2



Fuente: Elaboración propia

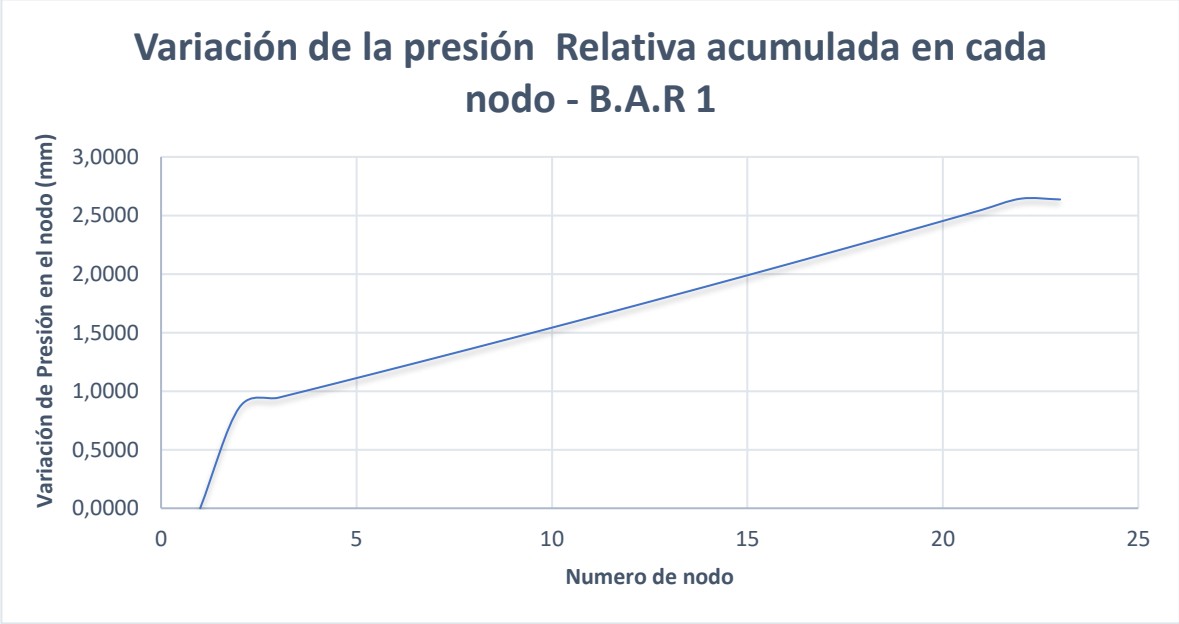
Así mismo, en el proceso de evaluación de la presión con la variación de la localización a diferencia de la evaluación con la presión y velocidad de onda relacionados con la ciudad de Bogotá se identifica el aumento de la presión, pero esta no tiene un salto considerable en la variación de la presión como se observa en las siguientes gráficas en las que la presión relativa acumulada no supera los 350 mm.c.a.

Figura 20. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Cartagena – BAR 1



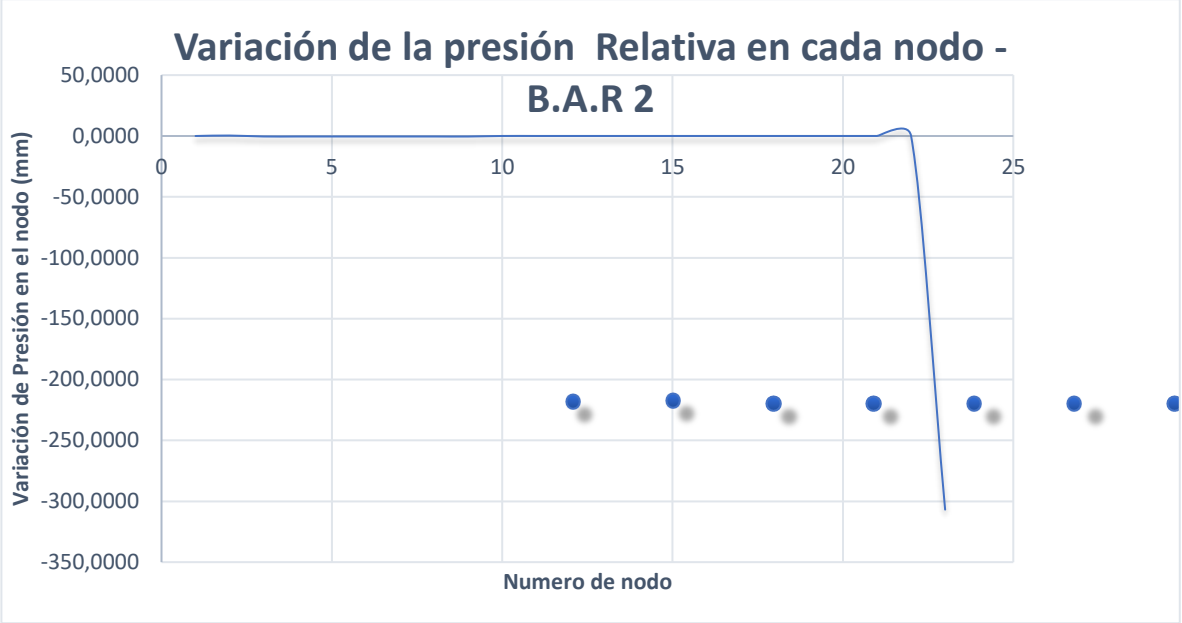
Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Cartagena – BAR 1



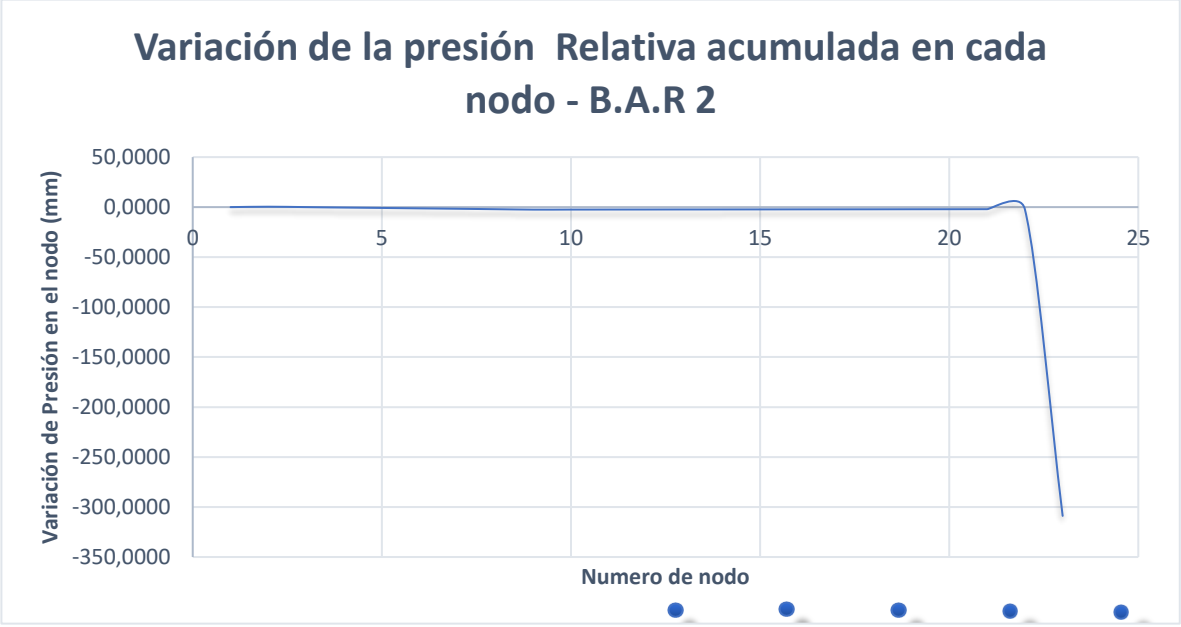
Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Variación de la presión Relativa vent. simple Cartagena – BAR 2



Fuente: Elaboración propia

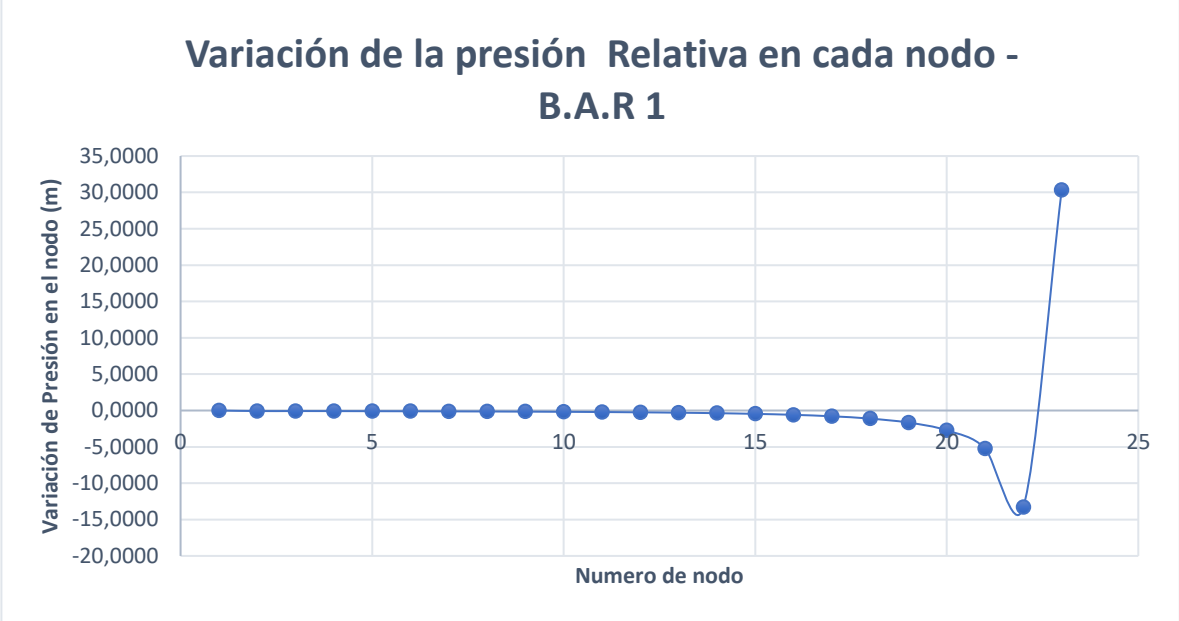
Figura 23. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Cartagena – BAR 2



Fuente: Elaboración propia

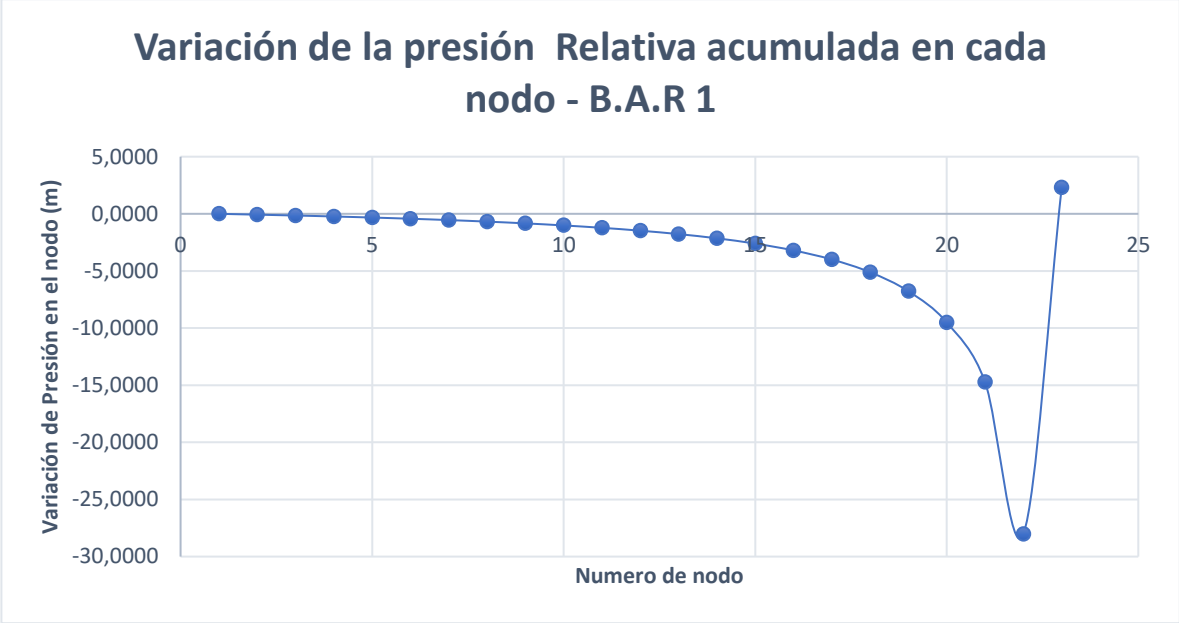
Y finalmente para la evaluación de la bajante con el sistema de ventilación secundaria se puede constatar que al igual que en los otros escenarios que analizan la ventilación simple la presión aumenta nodo a nodo, pero el aumento no es un aumento significativo con respecto a la evaluación inicial de ventilación simple localizada en la ciudad de Bogotá entendiéndose pues que en diseños con la ventilación secundaria se genera una redujo en la amplitud los transitorios de presión.

Figura 24. Variación de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 1



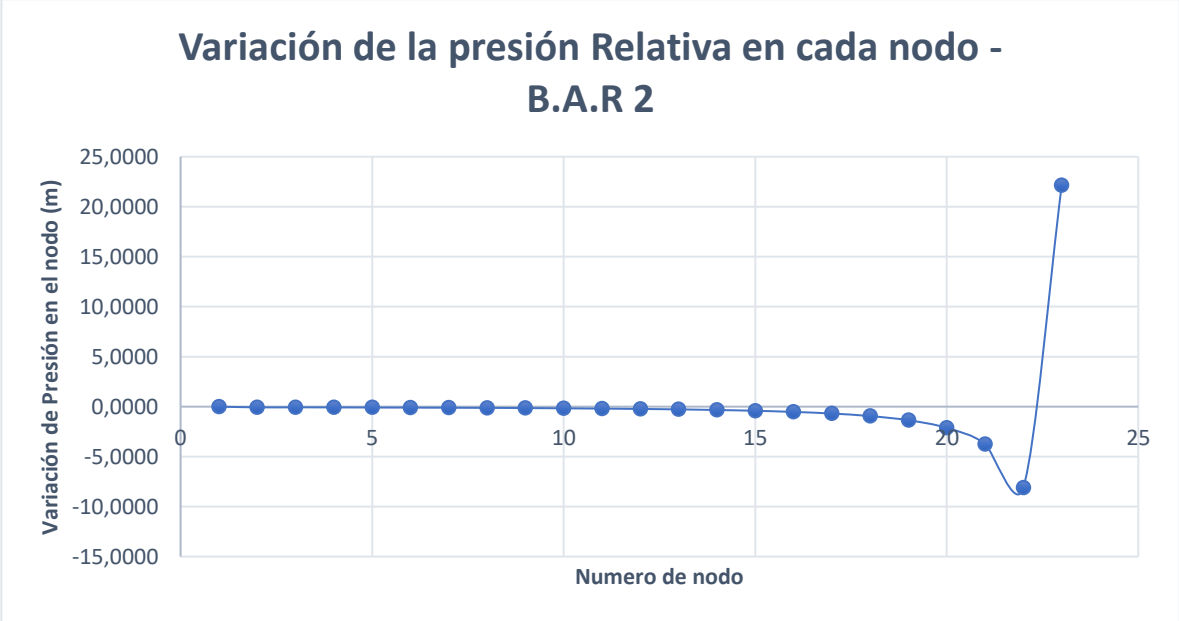
Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Variación acumulada de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 1



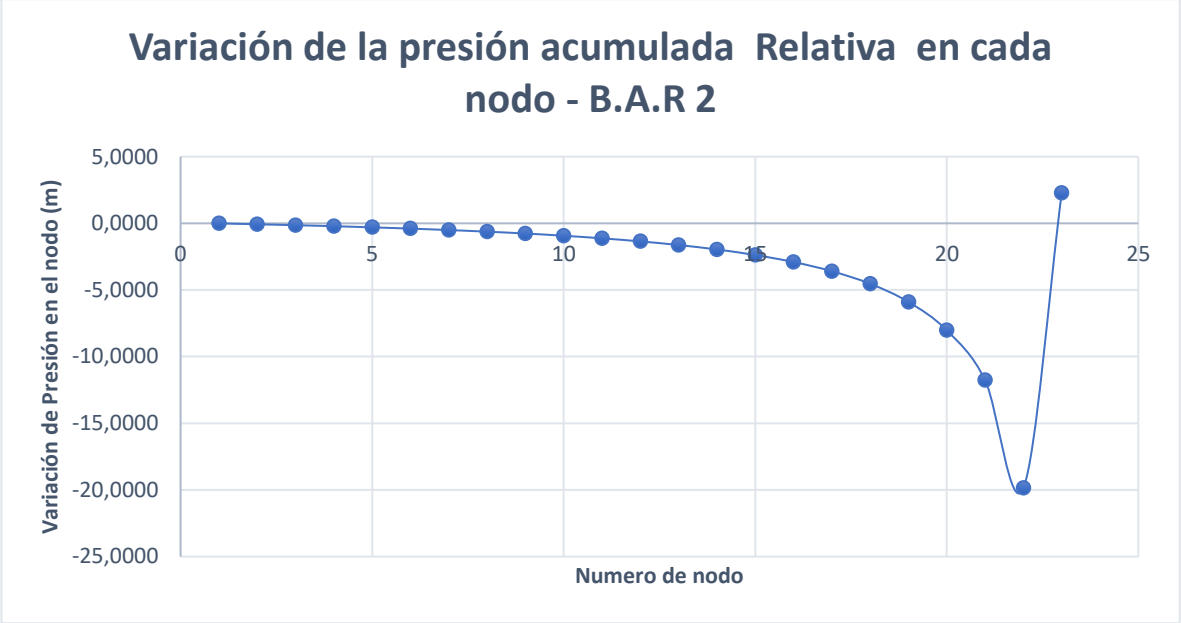
Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Variación de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Variación acumulada de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 2



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las gráficas y datos relacionados en los anteriores capítulos para cada uno de los escenarios en estudio se realiza la validación del comportamiento y concentración de los transitorios de presión, así se definen relaciones dentro del análisis que vinculan las condiciones de flujo real con el comportamiento de los transitorios.

Inicialmente en el análisis de la ventilación simple con localización en Bogotá se establece que el pico de presión se da entre los pisos 12 a 11 (nodo 15) para la bajante 1 y entre los pisos 11 a 10 (nodo 16) que se relacionan en cuanto al valor del caudal y a su vez de la velocidad de aire en la bajante pues para estos puntos el valor de caudal es de aproximadamente 3,9 m^3/s y velocidad del aire cercana a 0,99m/s.

Ahora bien, para el caso de la evaluación en la ventilación simple en Cartagena y ventilación secundaria en Bogotá se aprecia el pico en la presión relativa se cerca al nodo final (nodo 23) a excepción de la bajante 1 del primer caso, situación que permite inferir que los transitorios de presión para sistemas en los que solo se aplica la ventilación simple presentaran un pico de presión en una menor cantidad de nodos o pisos y que si se aplica en el sistema de desagües una ventilación secundaria o se varia la presión atmosférica en la bajante el transitorio se presentaría a un mayor nivel o nodo.

Por otra parte, el valor en los transitorios de presión relativa para los análisis de ventilación simple y ventilación secundaria en Bogotá determinan el valor de presión

negativa entre los nodos iniciales hasta el punto de marcación del pico en la presión y a su vez desde el pico hasta el final de los nodos una presión positiva, que genera un proceso de regulación de la presión después de que se presenta dicho pico, situación que para las grafica refleja el comportamiento de la presión como una onda.

Con lo expuesto anteriormente se deduce que para el desarrollo de un buen proceso de regulación de los transitorios de presión es importante validar el sistema de ventilación a implementar en los diseños, así como también la localización del proyecto pues la influencia de la presión atmosférica puede ayudar (con la presión atmosférica en Cartagena) o desfavorece (con la presión atmosférica en Bogotá) el proceso de ventilación, además también que es importante permitir la entrada de aire en la red (ventilación secundaria) de manera que se dé un proceso de equilibrio en la bajante reduciendo el pico de presión.

6.3.2. Relación de localización de un proyecto en la amplitud de lo transitorios de presión

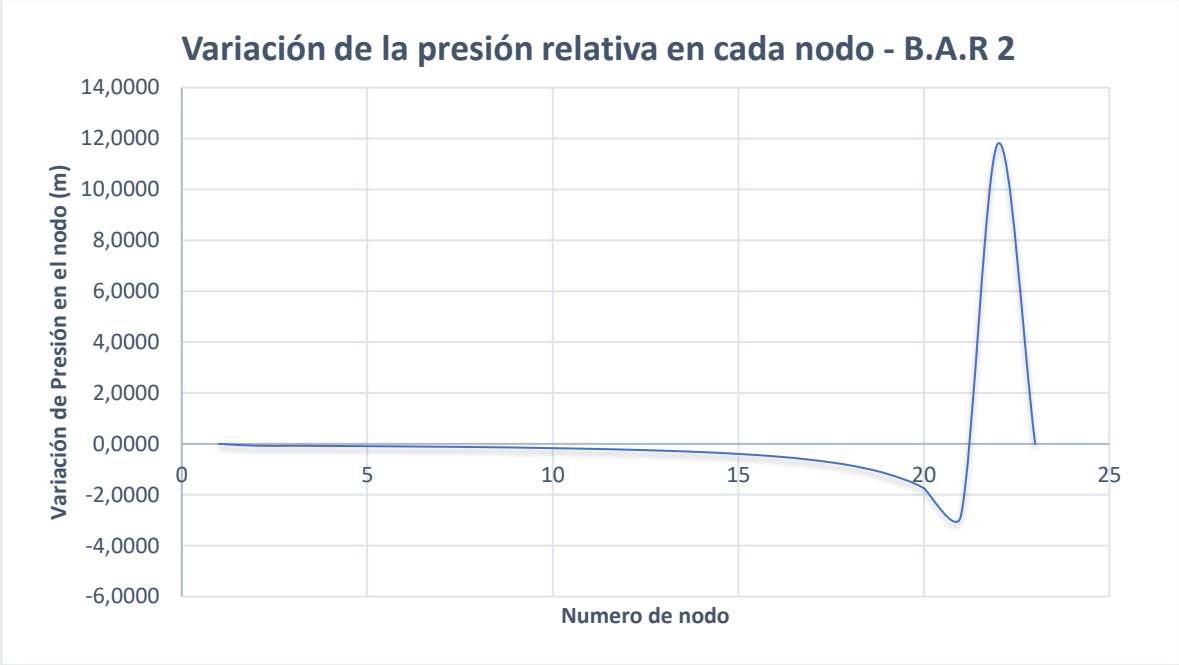
Como se pudo evidenciar a partir de los datos y resultados gráficos en la evaluación de los transitorios de presión para un sistema de ventilación simple ubicado en la ciudad de Cartagena, que a comparación de los otros dos escenarios el valor de la presión relativa se encuentra en un rango entre 0 a 2,7 mm.c.a, valor inferior a los resultados de presión relativa situación que lleva a la deducción de que a mayor presión atmosférica menor amplitud de los transitorios de presión.

Pero la sola presión atmosférica no es la única que se correlaciona con la disminución de los transitorios de presión sino como se indicó para las condiciones iniciales y de borde de la metodología la temperatura también juega un papel importante pues a partir de esta y su relación con la velocidad de onda del aire se toma el valor de borde para la condición Δt=0 en la velocidad acústica o de onda.

En consecuencia la ubicación del proyecto influencia a dos de las tres variables que se involucran dentro del método de las características y por lo que no es solo la aplicación de una presión mayor lo que regula la presión en estos casos, para ejemplificar de mejor forma el comportamiento de la presión con respecto a la localización del proyecto, se realizó la evaluación de un sistema de ventilación simple en dos lugares de Colombia con presión atmosférica intermedia a las ya aplicadas (presión atmosférica de Bogotá y Cartagena).

Es así como se tomaron las ciudades de Medellín y Villavicencio en donde se realizaron los procesos de iteración y que finalmente dio como resultado unos valores de presión que son mostrados en las siguientes graficas para la bajante 2, los demás procesos de cálculo se pueden validar en el anexo 2.

Figura 28. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Medellín – BAR 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Variación acumulada de la presión Relativa vent. simple Villavicencio – BAR 2



Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, como se aprecia a través de los resultados y de las graficas para estas dos localizaciones la presión relativa al final de ejercicio es una presión menor que la reportada en el análisis de ventilación simple para a ciudad de Bogotá, pero no es menor para el caso de Cartagena.

Además, la presión de Medellín que se aplica en el cálculo es de 85326,3 Pa y para Villavicencio de 955858,8 Pa con una variación entre estas de 10532.5 Pa que con respecto a los valores de presión relativa calculados de 11,806 m.c.a y 1,453 m.c.a respectivamente dan una variación de 10,353 m.c.a relacionando así la presión y el pico de presión en donde por cada 1017.33 Pa en la variación de presión se presenta el aumento de 1 m.c.a en el pico de presión.

De igual forma el aumento en la presión atmosférica ya evidenciado conlleva a que para que no se presenten transitorios de presión de gran amplitud es fundamental regular la presión de tal manera que se aproxime a la presión atmosférica al nivel del mar pues como se demostró para la aplicación en Cartagena los transitorios de presión no superan los 2,7 mm.c.a.

6.3.3. Relación de la variación de la presión con respecto a la relación de áreas (r) en la bajante.

Como se destacó dentro del marco teórico las tuberías cuentan con un comportamiento del agua en la bajante en esta forma un anillo ubicado por el contorno de la tubería y el área interna restante es ocupada por aire, en donde el área de agua con respecto al área total de la tubería se define como relación de áreas.

De la misma manera como esta relación juega un papel importante en la dimensión de las bajantes también es un factor que se vincula al aumento en la presión en las bajantes analizadas, para esto se presenta la tabla 35 en donde se muestra la relación de áreas de acuerdo al caudal que lleva la bajante, dicho valor es presentado de forma numérica decimal y fraccional que permite con mayor facilidad el proceso de estudio.

Tabla 35. Presión de acuerdo a la relación de áreas y la ventilación evaluada

Nodo		Relación de áreas r	Relación de áreas r	Presión Absoluta del aire (Pa) Vent. Simple Bogotá	Presión Absoluta del aire (Pa) Vent. Simple Cartagena	Presión Absoluta del aire (Pa) Vent. Secundaria
De	A					
Piso 27	Piso 25	0,464	1/2	90000,038	95604,470	89254,830
Piso 25	Piso 24	0,497	1/2	91730,696	95608,297	89941,838
Piso 24	Piso 23	0,518	1/2	93663,275	95604,325	90618,445
Piso 23	Piso 22	0,533	1/2	95947,839	95600,320	91368,306

Piso 22	Piso 21	0,546	5/9	98689,784	95596,292	92203,415
Piso 21	Piso 20	0,561	5/9	102040,628	95592,241	93138,283
Piso 20	Piso 19	0,573	4/7	106226,558	95588,166	94190,893
Piso 19	Piso 18	0,584	3/5	111600,496	95584,069	95383,810
Piso 18	Piso 17	0,594	3/5	118744,184	95579,948	96745,733
Piso 17	Piso 16	0,604	3/5	128846,005	95580,290	98381,147
Piso 16	Piso 15	0,612	3/5	143883,332	95580,631	100287,622
Piso 15	Piso 14	0,620	5/8	168480,946	95580,975	102536,473
Piso 14	Piso 13	0,627	5/8	215270,449	95581,321	105226,179
Piso 13	Piso 12	0,633	5/8	332980,120	95581,670	108496,743
Piso 12	Piso 11	0,640	2/3	931083,090	95582,021	112553,996
Piso 11	Piso 10	0,646	2/3	1793336567823,890	95582,375	117713,142
Piso 10	Piso 9	0,651	2/3	573,071	95582,732	124481,692
Piso 9	Piso 8	0,657	2/3	6755,377	95583,091	133730,442
Piso 8	Piso 7	0,662	2/3	14849,571	95583,452	147083,126
Piso 7	Piso 6	0,667	2/3	21904,316	95583,816	167931,844
Piso 6	Piso 5	0,671	2/3	27610,285	95584,183	204636,057
Piso 5	Piso 4	0,676	2/3	67058,715	95584,548	284043,808
Piso 4	Piso 1	0,680	2/3	67059,736	92575,523	66983,646

Fuente: Elaboración propia

Así, con la tabla anterior para la bajante con ventilación simple se aprecia que por cada cambio en la relación de aire (evaluada desde el valor fraccional) se presenta un aumento acentuado de la presión absoluta, situación que significa en el proceso que cuando se genera una reducción del aire (al aumentar la cantidad de agua en la bajante) se está genera un aumento en la amplitud de los transitorios de presión, ahora bien, para las otras dos condiciones el aumento no se da de forma significativa pero si se puede observar dentro de los datos que la presión aumenta en una menor medida pues como se analizó anteriormente la localización y el empleo de ventilación secundaria favorecen la reducción de la amplitud de los transitorios de presión.

Rafael Pérez indica que cuando la relación de áreas se encuentra entre 1/4 y 1/3 no hay variación de presión que permita la perdida de los sellos hidráulicos.[15], aclaración que permite inferir que para lograr dicha relación se deben aumentar los diámetros de las bajantes a un tamaño considerable para cumplir con esta relación, para efectos de análisis se muestra en el análisis el diámetro requerido para que se

[15] PÉREZ CARMONA, Rafael. Sistemas de ventilación. En: Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones, sexta edición, Ecoe ediciones, Bogotá. P. 205.

reduzca la relación de áreas a 1/3 en el análisis de la bajante 1 partiendo de los valores de calculados para las condiciones de flujo real.

Tabla 36. Aumento en el diámetro de la bajante para una relación de áreas de 1/3

Bajante	Nodo		Diámetro (pulg)	Diámetro (m)	Relación de áreas r	Velocidad de aire en el nodo UC (m/s)
	De	A				
B.A.R 1	Piso 27	Piso 25	8	0,2032	1/3	11,113
B.A.R 1	Piso 25	Piso 24	8	0,2032	1/3	4,434
B.A.R 1	Piso 24	Piso 23	8	0,2032	1/3	4,349
B.A.R 1	Piso 23	Piso 22	8	0,2032	1/3	4,278
B.A.R 1	Piso 22	Piso 21	8	0,2032	1/3	4,217
B.A.R 1	Piso 21	Piso 20	10	0,254	1/3	5,375
B.A.R 1	Piso 20	Piso 19	10	0,254	1/3	5,302
B.A.R 1	Piso 19	Piso 18	10	0,254	1/3	5,236
B.A.R 1	Piso 18	Piso 17	10	0,254	1/3	5,176
B.A.R 1	Piso 17	Piso 16	10	0,254	1/3	5,120
B.A.R 1	Piso 16	Piso 15	10	0,254	1/3	5,068
B.A.R 1	Piso 15	Piso 14	10	0,254	1/3	5,020
B.A.R 1	Piso 14	Piso 13	10	0,254	1/3	4,975
B.A.R 1	Piso 13	Piso 12	10	0,254	1/3	4,933
B.A.R 1	Piso 12	Piso 11	10	0,254	1/3	4,893
B.A.R 1	Piso 11	Piso 10	12	0,3048	1/3	6,074
B.A.R 1	Piso 10	Piso 9	12	0,3048	1/3	6,036
B.A.R 1	Piso 9	Piso 8	12	0,3048	1/3	6,000
B.A.R 1	Piso 8	Piso 7	12	0,3048	1/3	5,966
B.A.R 1	Piso 7	Piso 6	12	0,3048	1/3	5,933
B.A.R 1	Piso 6	Piso 5	12	0,3048	1/3	5,901
B.A.R 1	Piso 5	Piso 4	12	0,3048	1/3	5,871
B.A.R 1	Piso 4	Piso 1	12	0,3048	1/3	5,841

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, al evaluar el sistema de bajante y ventilación con la variación en el diámetro de la bajante para el análisis realizado con la bajante secundaria ubicada en la ciudad de Bogotá se llega a la disminución significativa de la presión relativa como lo muestra la siguiente grafica extraída del proceso de calculo que se encuentra en el anexo 2.

Es así como con respecto a la figura 24 en donde para la evaluación de la ventilación secundaria el pico de presión se presenta llegando al nodo 23 con un valor de 30,32 m.c.a que para el mismo sistema de ventilación con el aumento en los diámetros esta aproximadamente 9 veces por debajo de este valor con 3,506 m.c.a.

Figura 30. Variación de la presión Relativa vent. secundaria – BAR 1 con aumento en los diámetros



Fuente: Elaboración propia

No obstante analizando los diámetros de tubería que se debería implementar en el desarrollo de los procesos constructivos se determina inicialmente que los costó en tubería se aumentaría hasta 9 veces al pasar de un diámetro de 4 a 10 pulgadas, por otra parte comercialmente dentro de los desarrollo de tuberías para la colocación de un diámetro de 12 pulgadas la referencia de material PVC tipo sanitario no existe y tendría que usarse tubería PVC tipo alcantarillado que como su nombre lo indica se usa en desarrollo de redes de alcantarillado mas no es la ideal para construcción de bajantes.

Además, es importante tener en cuenta que el caudal calculado es un caudal estimado promedio que contempla las descargas sucesivas en la red, situación que se presenta en horas pico como lo son las mañanas (inicio de jornada del día en donde se realizan la actividades de baño, uso de inodoro y lavamanos, cocción entre otros), pero que a su vez indica que el caudal no es permanente pues en horas valle son pocas las descargas garantizándose de esta manera una mayor cantidad de aire en la red al generarse una reducción en el caudal y a su vez una reducción en la relación de áreas.

6.3.4. Perdida de los sellos hidráulicos en el proceso del desarrollo de los transitorios de presión

Finalmente evaluar la perdida de los sellos en los aparatos es importante pues de esta manera se valida el funcionamiento de las redes de ventilación, para esto se tiene en cuenta que la presión sobre el sello no se puede superar una presión de 2.54 cm.c.a (25.5mmca), es así como se evalúa la variación de la presión relativa en las tres situaciones de ventilación analizadas (ventilación simple en Bogotá, ventilación simple en Cartagena y ventilación secundaria en Bogotá) .

Tabla 37. Variación de la presión Relativa de acuerdo a la ventilación evaluada

Nodo		Variación de la presión Relativa (mmca) Vent. Simple Bogotá	Variación de la presión Relativa (mmca) Vent. Simple Cartagena	Variación de la presión Relativa (mmca) Vent. Secundaria
De	A			
Piso 27	Piso 25	0,0000	0,0000	0,0000
Piso 25	Piso 24	-176,4829	0,3902	-70,0573
Piso 24	Piso 23	-373,5565	-0,4050	-68,9967
Piso 23	Piso 22	-606,5235	-0,4084	-76,4666
Piso 22	Piso 21	-886,1318	-0,4108	-85,1598
Piso 21	Piso 20	-1227,8323	-0,4131	-95,3326
Piso 20	Piso 19	-1654,6901	-0,4155	-107,3393
Piso 19	Piso 18	-2202,6943	-0,4178	-121,6471
Piso 18	Piso 17	-2931,1679	-0,4202	-138,8813
Piso 17	Piso 16	-3961,2953	0,0348	-166,7703
Piso 16	Piso 15	-5494,7181	0,0348	-194,4118
Piso 15	Piso 14	-8003,0457	0,0351	-229,3253
Piso 14	Piso 13	-12774,3786	0,0353	-274,2812
Piso 13	Piso 12	-24777,7551	0,0356	-333,5139
Piso 12	Piso 11	-85768,9638	0,0358	-413,7360
Piso 11	Piso 10	-182874463137,6560	0,0361	-526,1011
Piso 10	Piso 9	9119,2639	0,0363	-690,2190
Piso 9	Piso 8	8488,8267	0,0366	-943,1360
Piso 8	Piso 7	7663,4260	0,0369	-1361,6324
Piso 7	Piso 6	6944,0223	0,0371	-2126,0361
Piso 6	Piso 5	6362,1594	0,0374	-3742,8912
Piso 5	Piso 4	2339,4284	0,0372	-8097,5601
Piso 4	Piso 1	2339,3242	-306,8436	22134,5861

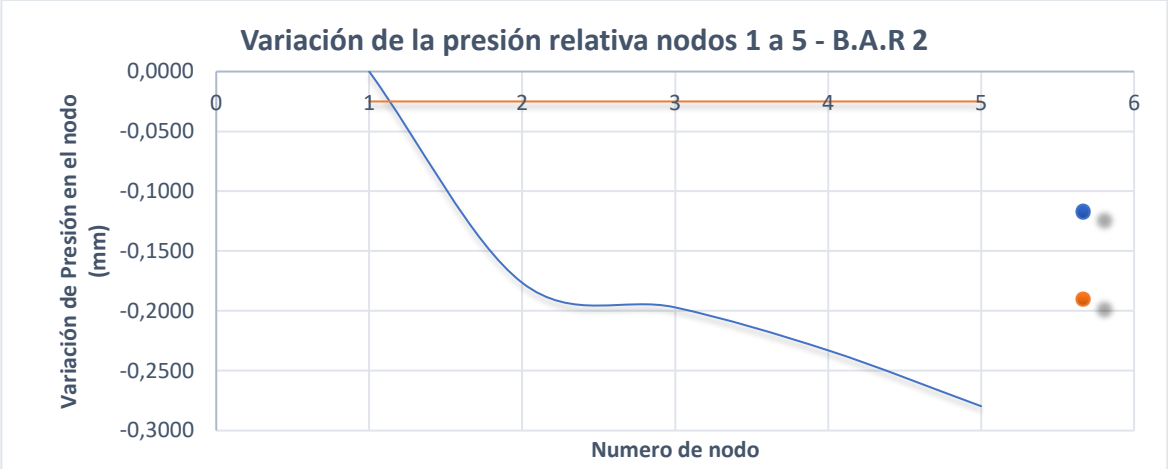
Fuente: Elaboración propia

Con base en la tabla anterior se permite evidenciar que en las bajantes con ventilación simple y ventilación secundaria ubicadas en Bogotá perderían el sello

una vez el caudal pase por el primer nodo en la bajante, pero para el caso de análisis de la ventilación simple ubicada en Cartagena se mantendría el sello al no haber una variación de presión que no supera los 10.75 mm.c.a, dando pues así a entender que la regulación de la presión permitiría que la presión en las bajantes no supere los 25.4 mm.c.a haciendo que se mantengan los sellos en los aparatos del sistema de desagües.

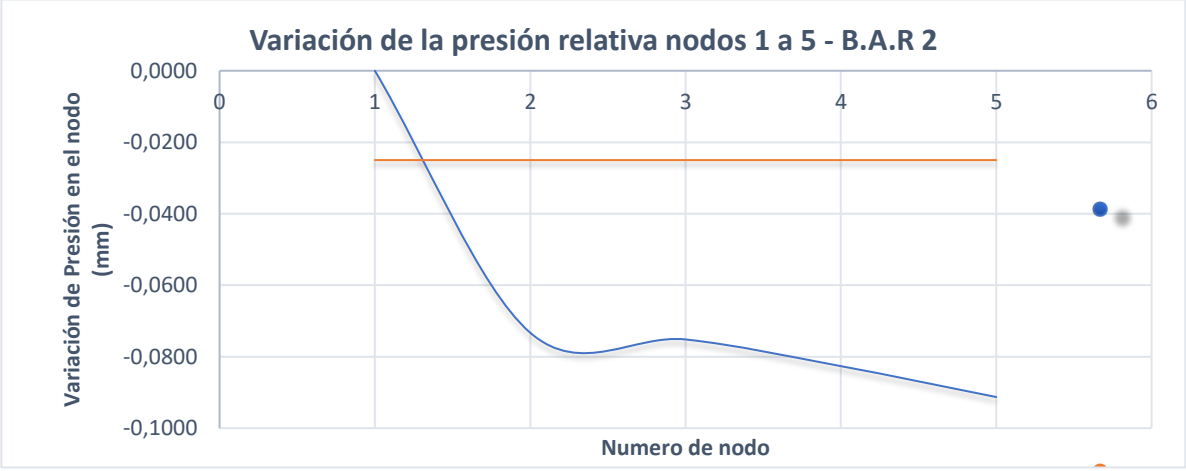
De hecho, gráficamente se puede mostrar el comportamiento de la presión relativa en los primeros nodos comparándolas con respecto al valor de presión para la perdida de los sellos hidráulicos en la segunda bajante de cada caso en análisis que incluyen a las ciudades de Bogotá, Medellín y Villavicencio.

Figura 31. Variación de la presión Relativa nodos 1 a 5 vent. Simple Bogota – BAR 2



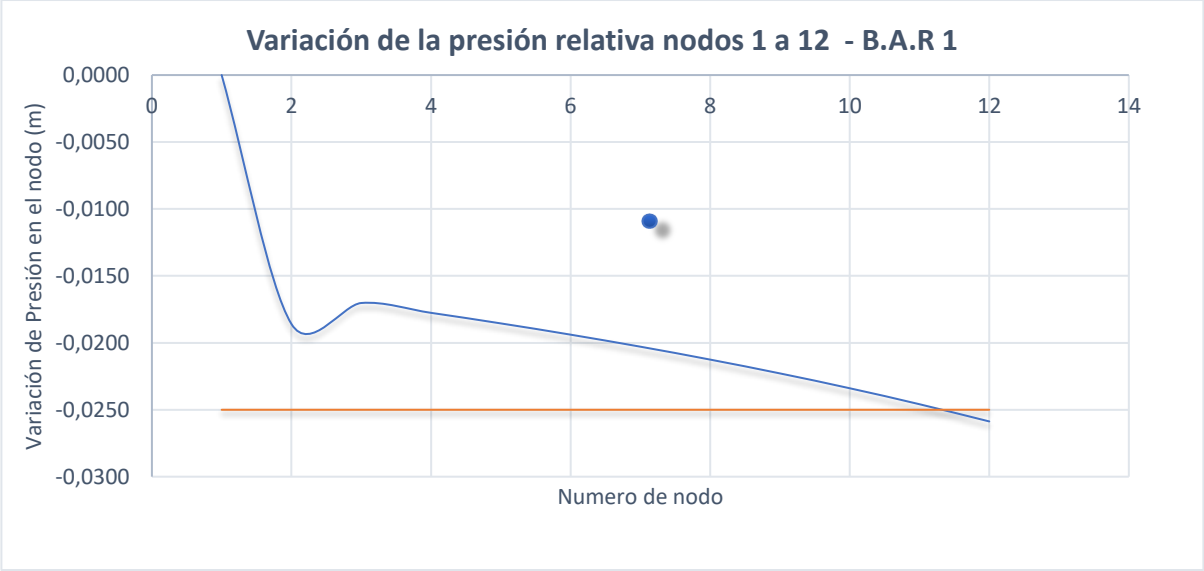
Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Variación de la presión Relativa nodos 1 a 5 vent. Simple Medellín – BAR 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Variación de la presión Relativa nodos 1 a 12 vent. Simple Villavicencio–BAR 2



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, la variación de la presión que se relaciona con la localización del proyecto de vivienda en donde la perdida de los sello hidráulicos para los sifones en lugares como Medellín o Bogotá se presente desde el inicio en el punto más alto de la bajante y que para el caso de Villavicencio se genera a partir de nodo 1, entendiéndose pues que la ubicación juega un papel importante, pues determina para las redes de desagües el sistema de ventilación a implementar y otras estrategias para evitar la perdida de los sellos validando así la función para la cual se estableció en los diseños de redes sanitarias las tuberías de ventilación.

Es decir, que la implementación de una estrategia como lo sería el uso de válvulas reguladoras de la presión para mantener en el sistema a una presión cercana a la presión atmosférica al nivel del mar, eso sí dependiendo como se ha indicado del lugar donde se encuentre el proyecto permitiría no solo el perfeccionamiento de los sistemas que actualmente existente sino también garantizaría que no se den procesos de propagación de virus o salida de malos olores sobre todo en las construcción de gran altura.

CONCLUSIONES

- Dentro del análisis se determinó que entre los nodos 15 y 16 se presenta un pico de presión para la bajante con ventilación simple y que a partir del nodo 19 se encuentra el pico con el análisis de ventilación secundaria, siendo claro que la funcionalidad en la reducción de la amplitud de los transitorios de presión al aplicar una ventilación de tipo secundaria más no en la eficiencia para evitar la pérdida de los sellos hidráulicos.
- La localización del proyecto constructivo con la influencia de la presión atmosférica en donde se encuentra puede ayudar o desfavorece el proceso de ventilación pues se demostró que a mayor presión atmosférica menor será la probabilidad de que se desarrollen transitorios de presión de gran amplitud que impliquen la perdida de los sellos.
- La implementación de válvulas reguladores de presión o similares se plantean como una alternativa donde la presión en la bajante se asemeje a la presión atmosférica a nivel del mar permitiendo la reducción en la amplitud de los transitorios de presión y de esta manera que la lámina de agua en os sifones se mantengan.
- Existe una correlación entre la relación de áreas en las bajantes y el aumento en los transitorios de presión encaminada a la cantidad de aire que hay en el sistema, que por medio del análisis reflejo que al presentarse un cambio en el valor fraccional de la relación de área se da un aumento significativo en la presión que se desarrolla dentro de la bajante y que al aumentar los diámetros de la tubería para estar cerca a el valor de 1/3 en la relación de áreas permite la reducción en la amplitud de presión, sin embargo el costo en el desarrollo de las redes desagües se verá aumentado significativamente.
- Los sellos hidráulicos en la totalidad de los pisos se estén perdiendo en los análisis de ventilación simple y ventilación secundaria pues el aumento en la presión se encuentra por encima de los 0.025 m.c.a. a excepción del análisis de presión al nivel del mar por lo que se en los proceso de diseño construcción se debe evaluar metodologías de ventilación con un enfoque relacionado tratar de mantener el valor de la relación de áreas cercano a 1/3 sin afectar el costo del la instalación de redes en un proyecto, o que dicho costo sea compensado con la colocación de válvulas reguladoras de presión sin tener que modificar el diámetro de la bajante.

.

BIBLIOGRAFIA

- GONZÁLEZ, José Leonel. Diseño y construcción del sistema de ventilación de la instalación para la evacuación de aguas residuales de edificios. Trabajo de grado Ingeniería Civil. Mexico. Facultad de Ingeniería de la UNAM. 2016. 96 p.
- PÉREZ CARMONA, Rafael. Sistemas de ventilación. En: Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones, sexta edición, Ecoe ediciones, Bogotá. P. 205.
- Ventilación de bajantes de aguas residuales (disponible en: https://www.ingenierosindustriales.com/ventilacion-de-bajantes-de-aguas-residuales/)
- VILLASMIL, Alejandro. Construcción 30: Unidad III Recolección y evacuación de aguas residuales. Mérida, Venezuela. 2009 23 p
- Rodríguez, H. A (2009) Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones. Escuela colombiana de ingeniería, Bogotá D.C.
- GRANADOS, Jorge Armando. Redes hidráulicas y sanitarias en edificios. Universidad Nacional de Colombia. 2002 - 210 p.
- Escuela técnica superior de arquitectura de Sevilla. Apuntes de Instalaciones 1 - Saneamiento y electricidad.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS, Código Colombiano de instalaciones hidráulica y sanitarias. Tercera actualización, 2007, 284P, NTC 1500
- Swaffield, John. Mathematical basis for the simulation of low amplitude air pressure transients in vent systems. En: Transient Airflow in Building Drainage Systems. Londres y New York, Spon Press, 2010. P. 59-91

. Anexo 1 - Planos de diseño para las edificaciones de vivienda de 3 y 27 niveles

Anexo 2 – Cálculos de transitorios de presión en las edificaciones de vivienda de 3 y 27 niveles