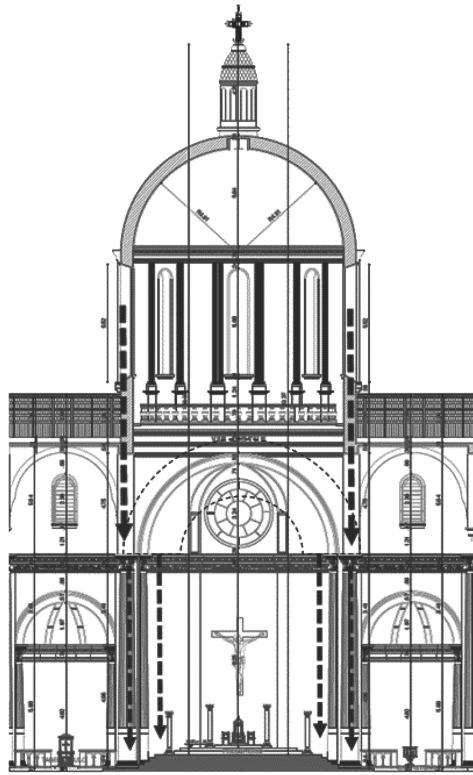
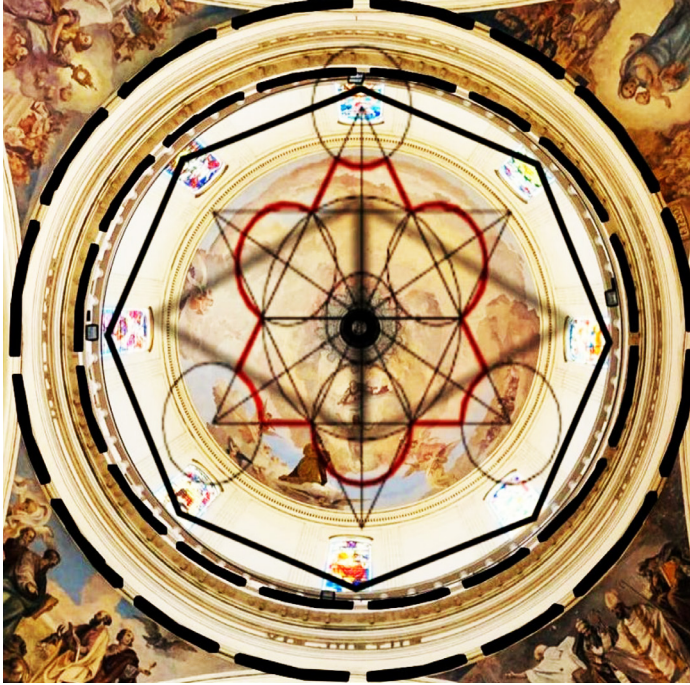


**Figura 40. Alzado de cúpula con representación de esfuerzos**

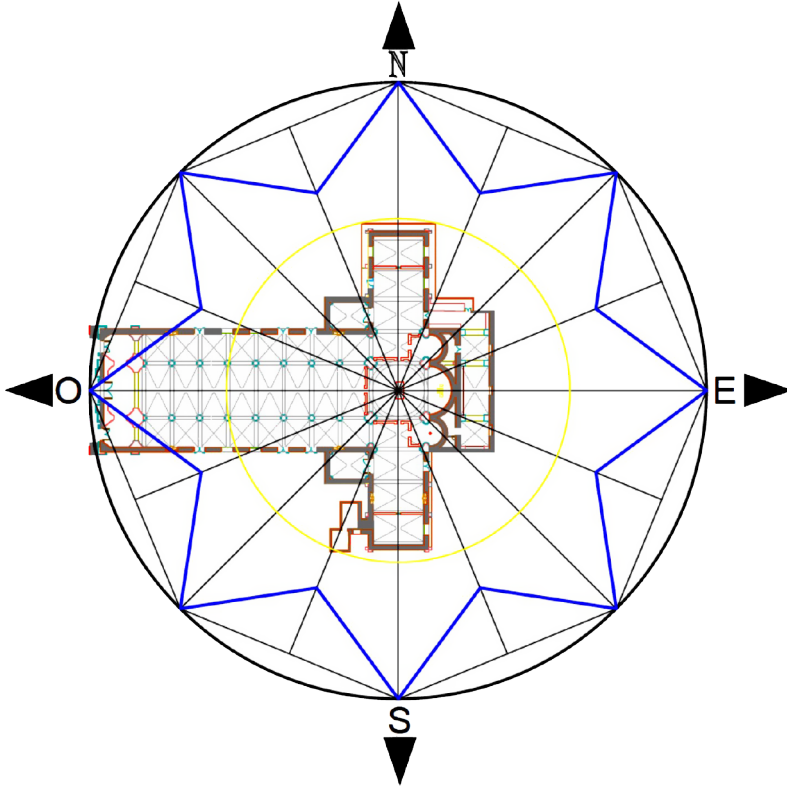
Fuente: elaboración propia.

Se puede analizar geométricamente que en la evolución del cuadrado a la forma circular intervienen figuras poligonales que parten del octógono como planta más estándar, tal como lo explica Navarro (2005). Así mismo, este autor (citando a Gelabert, 1953) afirma que de la “capilla cuadrada con tres paños de ochavo” pueden nacer también las bóvedas de plantas pentagonales, hexagonales, heptagonales, decagonales y dodecagonales. Estas formas geométricas, que se aproximan al círculo o se inscriben en él, funcionan con una clave polar de la que parten las nervaduras hacia los apoyos situados en los vértices del polígono (Navarro 2005). Con referencia a estas formas geométricas, el arte cristiano las ha relacionado simbólicamente con la “Flor de la vida”, la “Semilla de la vida y el “Árbol de la Vida”.

**Figura 41. Geometrización de la cúpula y su entorno**

Fuente: elaboración propia.

Al extrapolar la localización de la cúpula con referencia a su estratégica ubicación en la catedral, justo encima del altar, se puede observar, tal como lo relaciona Llambard (1991), que “todos los templos cristianos se han edificado siempre según un eje este-oeste (el llamado «eje litúrgico»), estando la cabecera a oriente y la fachada principal de acceso en el frente opuesto, a occidente” (p. 15). Esto quiere decir que con la orientación en el eje litúrgico es posible admirar en el interior los colores nítidos de los vitrales orientados tanto en horas de la mañana como en las horas de la tarde (Vergel *et al.*, 2021), generando un centro lumínico con esquema radial (ver figura 42), lograda con naranjas, amarillos y azules de los haces de luz de dichas cristaleras del tambor. En efecto, los vitrales están orientados convenientemente, de ahí el efecto tamizado y cromático que baña el interior del altar en algunas horas del día.

**Figura 42. La cúpula y su relación con el eje litúrgico**

Fuente: elaboración propia.



## CAPÍTULO 4

### CUANDO TOCAN LAS CAMPANAS, RESUENAN LAS TORRES

La tradición en las ciudades y en las zonas rurales manifiesta la influencia mutua de las campanas y las torres, ya que el vínculo es la suspensión de estos cuerpos sonoros en estas estructuras arquitectónicas. Cervera (2009) comenta que Roma comenzó a construir esta clase de edificios, pero siempre con intenciones defensivas pues servían como faros o puestos militares. Paralelamente, Lorenzo (2007) afirma que históricamente el uso de la campana para fines religiosos se remonta al siglo VIII, cuando también se relaciona con la construcción de las torres de las iglesias. Igualmente testifica que no hay iglesia sin campanas, por lo que la torre o la espadaña surge con su único objetivo de sostenerlas, generando un hito jerárquico y llamativo en los parajes urbanos y rurales, tal como fue afirmado por Thurston (1907). A la par, se señala que a medida que se hizo necesario convocar a los habitantes de la ciudad o aldea a las celebraciones, se construyeron torres y campanas que fueron aumentando de tamaño y número para reforzar el sonido (Thurston 1907).

En este sentido, Cervera (2009) prueba que la necesidad de las llamadas de alerta a la población dio origen a la campana, cuyo nombre en inglés *belfry* denota su origen militar. De ahí que la torre cobre importancia, así como su ubicación para ser visible y audible, pues debía ser estratégica en el territorio. No obstante, su función militar primitiva fue perdiendo vigor para ganarla en su función simbólica. Razón por la que Sánchez (1993) sostiene que la situación de la torre a los pies del edificio, refiriéndose a la entrada de los templos, como lo representa este caso la catedral de San José de Cúcuta, se declaraba como elemento arquitectónico muy distintivo y territorial.

Esto quiere decir que las torres señalan el acceso, se insinúan como un mojón, para hacer el alto en el camino urbano o rural, y presentar, de esta forma, la entrada al templo, el lugar donde el fiel inicia su recorrido espiritual pero también físico al altar. Por otra parte, le aporta a la fachada un elemento simbólico a su lenguaje republicano. De esta manera, la estructura tripartida de la fachada está conformada por estas dos torres, norte y sur, y el frontón como articulador de estos elementos que crea una jerarquía, que se “compone de *ordinatio* (orden y composición proporcionada), *euritmia* (elegancia y armonía), *symmetria* (simetría), y dispositio (proyecto)” (Máñez y Garfella, 2013, p. 77). Estos autores explican el tamaño adecuado, modulación, proporción y correcta distribución de las diversas partes de un edificio. Es decir, en la catedral se guardan las proporciones y simetrías perfectas, atesorando de cierto modo la influencia medieval, también mediante la aplicación de elementos como las cúpulas con sus linternas (ver figura 43).

**Figura 43. Vista de las torres de la catedral**



Fuente: elaboración propia.

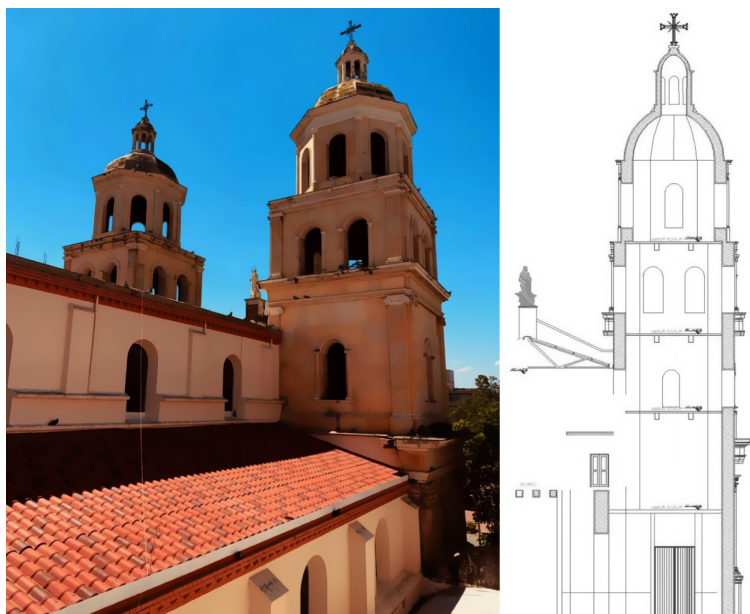
En este orden de ideas, es evidente la evolución del campanario, por lo que fueron las campanas y sus torres las responsables de la fascinación por los perfiles estilizados que hoy en día son cotidianos en los entornos urbanos. No obstante, cada vez se escuchan menos los toques de las campanas, sus sonidos fueron reemplazados por los ruidos de la ciudad, y cada vez más, la indiferencia, o solo practicar los cortos toques, hacen apenas parecer la idea de conservar el sonido patrimonial del templo. Para Campo (1988):

Cada vez se estilan menos toques y bandeos de campanas, se pierde su sentido interpretativo, mientras el horizonte futuro de campanas gigantes y campanarios muestra señales de extinción, que antaño resultaban de imprescindible reparación y complejos protocolos. Entonar su réquiem puede resultar doloroso, aunque comprensible, en cualquier caso, no incapacita para tributar homenaje conmemorativo a nuestros mayores. (p. 166)

De ahí la petición de la Asociación de Protección del Patrimonio Hispania Nostra, que intenta que la Unesco declare el sonido de las campanas tocadas a mano como patrimonio inmaterial de la humanidad (Milenio, 2019). Este autor menciona a Bárbara Cordero, coordinadora general de Hispania Nostra, quien alega el valor patrimonial resaltando el poder comunicativo de las campanas y que afirma: “Cuando se dejó de pagar a los campaneros empezaron a desaparecer, pero la despoblación de los pueblos puede ser la puntilla, dado que en las zonas urbanas prácticamente todos los campanarios están automatizados” (p. 1). Por lo que se emprende en algunos países acciones particulares con referencia a la conservación de los toques, documentarlos, generar concursos, convocar a la comunidad para que participen de esta tradición, y así evitar que no se pierda.

Con respecto a la descripción arquitectónica de las torres en la catedral, son cuerpos estructurales independientes de 35 m de alto, logrados progresivamente en el tiempo, hasta permitirle a la totalidad del alzado un equilibrio. Esta composición se ve enriquecida con la división horizontal en pisos y molduras que compensan esta altura, entendiéndose los 23.23 m de ancho del frente de la catedral, así el resultado es una fachada más alta que ancha. Sin lugar a dudas las torres le aportan una imagen castrense a la fachada, conforme a esto, Malagón (2006) argumenta que este aire extranjero en la arquitectura nacional, al igual que en el ámbito político, es reconocido y ratificando en la doctrina colombiana el influjo francés desde el punto de vista militar o ideológico, como ya se había conceptualizado (ver figura 44).

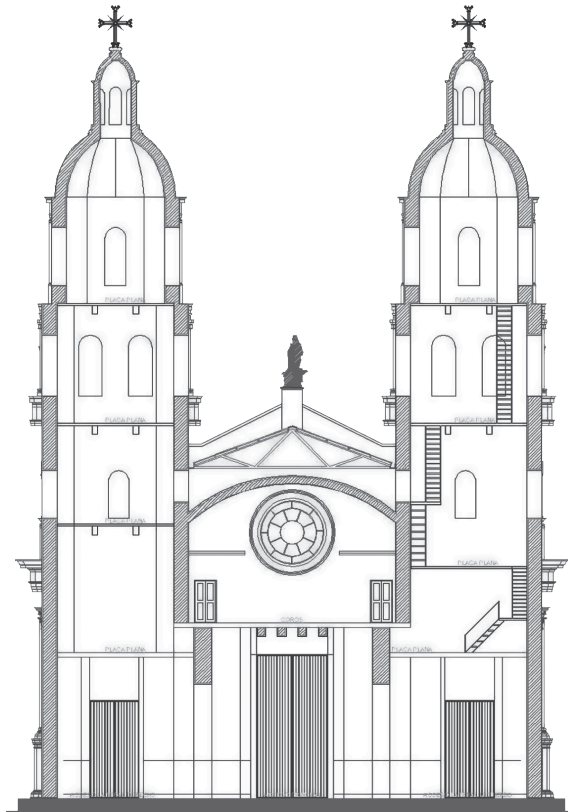
**Figura 44. Vista del alzado arquitectónico y fotográfico de las torres de la catedral**



Fuente: elaboración propia.

De manera puntual, los 35 m de altura de las torres se distribuyen de forma ascendente del siguiente modo: los primeros 17 m los ocupa la base del campanario, este primer tramo es de sección cuadrada de 7 m de lado exterior y muro de 0,50 m de espesor. El campanario de sección cuadrada con esquinas achaflanadas se apoya en los muros de la base y posee una altura de 4,32 m, por lo que la ubicación de las campanas se logra a 20 m sobre el nivel del suelo en la torre norte, ya que la torre sur, la primera construida y la inaugural como campanario, actualmente no tiene este uso. Siguiendo con los tramos, luego a este cuerpo le continúa otro tramo de 3 m de altura, retranqueado 0,30 m por cada lado de la planta anterior. Culminando la composición arquitectónica de la torre, se remata en primera instancia con la cúpula de 4 m de alto y 6,4 m de diámetro aproximadamente, elaborada cuidadosamente en mampostería de ladrillo, se posa sobre ella la linterna de 2 m de altura y se corona en segundo y último lugar, con una pequeña cúpula de 1,5 m de altura, cuyo extremo superior coincide con los señalados de 35 m sobre el nivel del suelo para elevar la bola con cruz metálica (ver figura 45). Esta composición es idéntica en ambas torres.

**Figura 45. Corte de las dos torres: sur y norte**



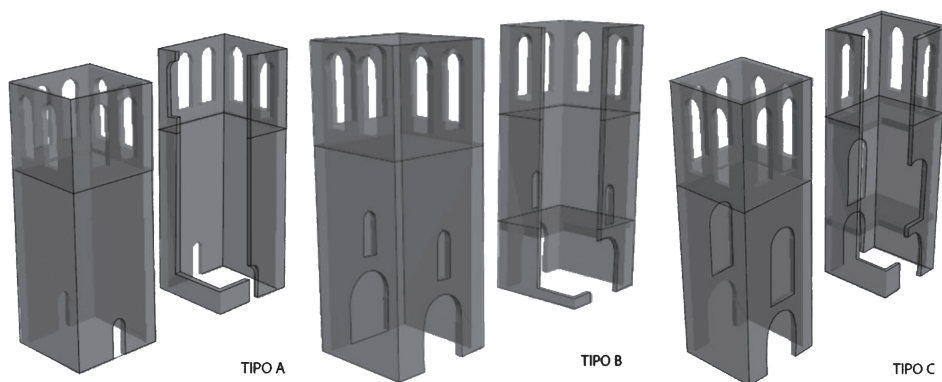
Fuente: elaboración propia.



En este análisis resulta interesante el desarrollo vertical de la torre, al considerar su autonomía e independencia del resto de la catedral (Delgado *et al.*, 2018). Su organización interna, aun cuando en el interior parezca una caja vacía, proyecta soluciones estructurales y funcionales adecuadas a su fin de ser audible y visible en el territorio (Vergel *et al.*, 2018), como ocurre en algunos campanarios de estilo románico (Ranilla, 1997). Esto coincide con lo expresado por Sánchez (2009), al establecer que, en el análisis de estos edificios románicos, en su organización interna, bosqueja la complejidad estructural y funcional, ya que es común que la torre se fraccione en varios tramos exteriormente sin que en el interior aparezca ningún elemento de relevancia como se pudo observar en la catedral.

Sánchez (2009) presenta tres variaciones a este modelo, en esta presentación se puede distinguir el “tipo c”, que corresponde a la tipología de la torres sur y torre norte, como sucede con la división en varios cuerpos con ventanas en el exterior, que ella posee, sin que por dentro haya más que una losa en hormigón adosada al perímetro interno y comunicada con escaleras de madera y estructura en hierro. Es así que, la torre está conformada por un espacio en planta baja, otro espacio en segundo nivel que conecta con el coro y el espacio superior hasta el campanario (ver figura 46).

**Figura 46. Esquema tipo de torres y su distribución interior**



Según Sánchez (2009), la tipología correspondiente a la catedral es el tipo C.

Fuente: visualización 3D por Catherine Contreras Torres.

Otro rasgo que se presenta en la torre es su escalera original, la cual se inserta en los muros de la base de la torre, a manera de corredor, ensanchando la sección del tabique, comunicando los dos primeros niveles de la torre y permitiendo el acceso a las sogas que dan los toques de las campanas. Este carácter es típico de la arquitectura militar, donde el volumen de los muros se adapta para incrustar pequeños recorridos (Bachmann, Ammann y Deischl, 1997). Es de apuntar que estos pasajes internos no son visibles a los fieles, y que solo la indagación con fines del levantamiento arquitectónico permite encontrar estos espacios ocultos.

Así mismo, cabe señalar que este rasgo con la entrada embebida de forma secreta entre los muros de la torre, para ascender de forma rápida e inadvertida, desde la entrada principal hasta el tercer nivel, acentúa su ingenio castrense, situación que Gómez (1997) atañe al conocimiento militar aplicado en la construcción de torres para campanarios en la época medieval, de allí su imagen de fortaleza. Sin lugar a dudas este pasadizo escondido propuso una atalaya perfecta para la protección, respondiendo a las circunstancias políticas y sociales condicionadas por las luchas civiles que se registraron en este periodo en la ciudad de Cúcuta (ver figura 47).

**Figura 47. Vista de la fachada y acceso a torres - Década de 1940**



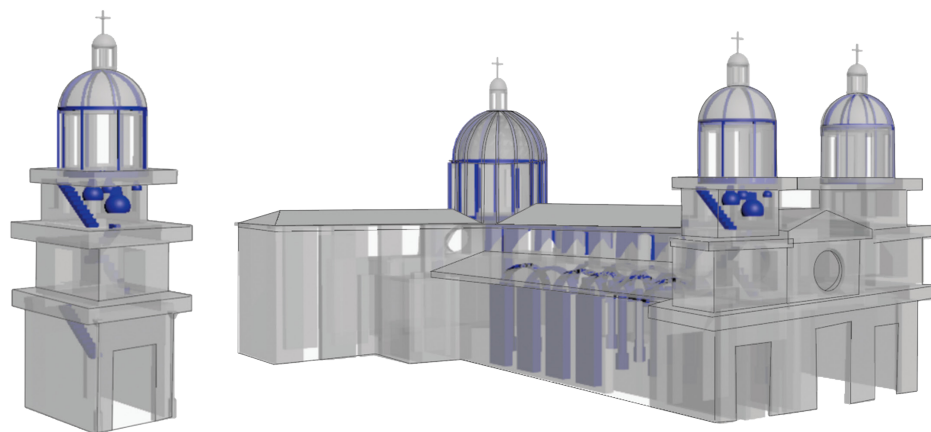
Fuente: Fotos Antiguas de Cúcuta (2020).

En lo constructivo, se puede observar que los materiales empleados pertenecen a la zona geográfica del Norte de Santander, como son el ladrillo y la piedra de buena calidad, aparejada en hiladas de ancho homogéneo, aunque se advierte las hiladas de cambio de material denotado por el crecimiento vertical de la torre conforme a sus periodos de intervención. En consonancia, los diferentes trechos que componen las torres son diferentes. Este fenómeno es visible en la comparación de las superficies internas de ambas torres, aun cuando son similares, su manufactura presenta distintos detalles en la postura y el material visto en texturas, colores y tamaños. Esto entendido a razón de las distintas épocas constructivas de la torre norte, la torre sur y sus diferentes tramos.

Aunque no se precisa con exactitud la fecha constructiva de estos cuerpos, se clarifica, por parte de Solano (1970), que fue hasta el 5 de noviembre de 1905 cuando se reinició la labor constructiva. No obstante, en archivos fotográficos presentados en la Cámara de Comercio de Cúcuta (2000) se evidencia en una imagen de 1900 la

torre sur prácticamente terminada. De ahí que se puede deducir que la construcción de la torre sur fue a finales del siglo XIX. Precisamente Niño (2016) comenta que el 28 de noviembre de 1915 sonaron las primeras campanas donadas por don Felipe Trisancho, ubicadas en la torre sur. Luego se culmina la torre norte, muy posterior a 1933, dato observado en las fotografías del Parque Santander de ese año. Hacia la década de los 40 otros elementos fueron reevaluados, como el reloj ubicado en su segundo tramo de la torre sur. Lo que llevaría a pensar que la construcción de la torre norte se llevó a cabo antes de 1945 (ver figura 48).

**Figura 48. Torre norte, ubicación de las campanas, composición total de la catedral y sus dos torres**



Fuente: visualización 3D por Catherine Contreras Torres.

En el caso de las campanas de la catedral de San José de Cúcuta, ubicadas en la torre norte, en el tercer nivel, cuya planta rectangular al interior, no solo configuró la construcción más alta de la ciudad, sino también constituyó el mayor instrumento sonoro de la localidad en el siglo XX, permite hasta el día de hoy la salida del sonido a través de sus dos pares de vanos románicos a cada lado (Delgado *et al.*, 2018). Estos autores afirman que la estructura está pensada como una caja de resonancia, estratégicamente elevada para difundir a mayor distancia la sonoridad de los toques de la campana Santa Madre, campana mayor Sagrado Corazón, campana menor San Luis y la campana media, llamada para efectos de este estudio San José, y que se escucha en gran parte de la ciudad (ver figura 49 y 50). La caracterización de ellas en cuanto a su peso aproximado se registra en 500 kg, 800 kg, 80 kg y 90 kg respectivamente, por lo que no reviste un peso destacable, pero sí su resonancia.

**Figura 49. Campanas de la catedral de San José de Cúcuta**Campana  
Santa Madre de DiosCampana mayor  
Sagrado Corazón  
de JesúsCampana menor  
San LuisCampana media  
San José

Fuente: elaboración propia.

En ese sentido, algunos tamaños notables alcanzados en la antigüedad son: la Iglesia de Orleans que pesaba un poco más de una tonelada, la campana Cantabona de la beata Azelin en Hildesheim, Alemania (siglo XI), que pesaba alrededor de 4 toneladas, y la campana María Gloriosa, de la catedral de Erfurt, fundida en 1497, que pesa 13 toneladas (Thurston, 1907). Así mismo, despuntan en la modernidad la campana de la catedral de Colonia, que pesa cerca de 27 toneladas, la de la Iglesia del Sagrado Corazón en Montmartre, que pesa 18 kg, y la campana de la basílica de San Pedro en Roma que pesa cerca de 9 toneladas.

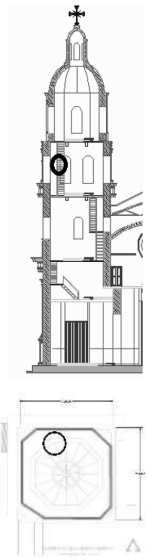
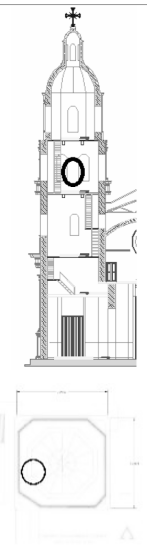
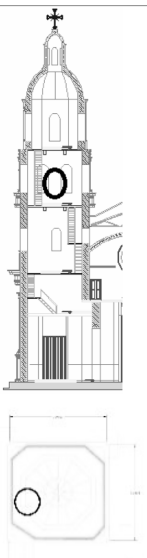

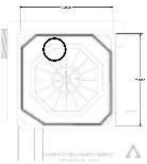
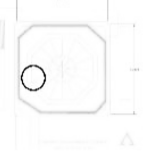

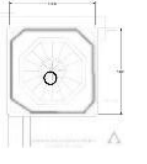
**Figura 50. Vista de las campanas Santa Madre de Dios y San José**

Fuente: elaboración propia.

La inscripción de las campanas aporta información sobre estas, como, por ejemplo, a quién está consagrada, fecha de fundición, fundidor, entre otros datos, que puedan ser de ayuda para su identificación. Lo que respecta a la tipografía del texto inscrito en ella ha variado, desde las primeras campanas con estilo de letra adornado en las épocas estilísticas del clásico, gótico, victoriano, a un tipo de letra

ordinario en la modernidad. Este último caso es el concerniente a por lo menos tres de las campanas de la catedral y sus epigrafías, ya que en una de ellas no es visible la inscripción (ver tabla 3).

**Tabla 3. Ficha técnica de las campanas**

Ficha técnica de las campanas				
Descripción	Campana Santa Madre	Campana mayor Sagrado Corazón	Campana menor San Luis	Campana media San José
Ubicación Torre 1				
Alzado / Planta				
Epigrafía	Santa Madre de Dios ruega por nosotros. Año. 1947. Logo de la empresa: Luis Trisancho e Hijos B/Col.	Sagrado Corazón de Jesús templo Santo de Dios tened piedad de nosotros. Logo de la empresa: Luis Trisancho e Hijos, Bucaramanga, 1947.	San Luis 1952.	No es visible.
Tamaño	90 cm de alto, 1,10 de cm de diámetro, base mediana.	1,10 cm de alto, 1,27 cm de diámetro, base grande.	55 cm de alto, 57 cm de diámetro. Pequeña.	45 cm de alto, 70 cm de diámetro. Pequeña.
Borde	13 cm	15 cm	6 cm	Liso

Ficha técnica de las campanas				
Peso aproximado	500 kg	800 kg	80 kg	90 kg
Material	Cobre, bronce y estaño	Cobre, bronce y estaño	Cobre, bronce y estaño	Cobre, bronce y estaño
Año de fundición	1947	1947	1952	Desconocida
Fundidor	Luis Trisancho e Hijos	Luis Trisancho e Hijos	Desconocido	Desconocido
Lugar de fundición	Bucaramanga	Bucaramanga	Desconocido	España
Yugo	Guaya metálica	Guaya metálica	Guaya metálica	Guaya metálica
Badajo	Metálico	Metálico	Metálico	Metálico
Mecanismo de toque	Toque manual	Toque manual	Toque manual	Toque manual
Perfil	Inglés	Inglés	Inglés	Flamenco holandés

Fuente: elaboración propia.

Esta particularidad, de la epigrafía, revela el origen de las campanas, atribuido al fundidor Luis Trisancho e Hijos, con amplia trayectoria en el país. En esta trayectoria, la quinta generación de campaneros de Nobsa, en entrevista con *El Tiempo* (2009), afirmaron que su labor fue aprendida de sus ancestros, y ellos, a su vez, de Eufasio Trisancho, quien hace más de dos siglos tomó de primera mano las instrucciones del español Juan de Gauss, que introdujo esa industria en Colombia. La descendencia de los Trisancho preserva el arte combinando el cobre, bronce y estaño, que se someten a temperaturas de 1200 grados centígrados para fundirlos. La técnica que usan se llama molde perdido, pues la horma para una campana solo se funde una vez y se rompe. De ahí que no existen dos campanas similares en el mundo. Para el caso de estas cuatro campanas de la catedral, su lugar de fundición fue en Bucaramanga hacia la mitad del siglo xx.

Además del estudio material de las campanas, la acústica es a su vez un amplio campo de interés patrimonial de carácter inmaterial por la contribución al paisaje sonoro. Woodside (2008) define paisaje sonoro como cualquier campo acústico que pueda ser estudiado por el conjunto de sonidos de un lugar en específico, ya sea país, ciudad, barrio o un recinto. Insiste en la importancia de los sonidos y su interacción, ya sea eventual o intencional con referentes del entorno social donde es producido, siendo así un indicador de la evolución de una sociedad. Aunado a esto, acuñan el término “marcas sonoras” como un sonido patrimonial que es único y posee cualidades que lo hacen reconocible por dicha comunidad.

En el caso de las campanas de la catedral de San José de Cúcuta, cuyos toques manuales han marcado señales horarias, convocatorias a misa, fiestas y solemnidades, hasta toques civiles, entre otras, dejan al descubierto un paisaje sonoro al que se relacionan elementos vitales, además de las propias campanas, como son los yugos, badajo, la altura a la que se disponen, orientación, y estructura de la torre, que modifican su sonido. Para Campo (1988), la complejidad del lenguaje de las campanas dado por la emisión de sonos distintos y su escala ilimitada es captada por el órgano auditivo. Fueron utilizados desde las antiguas civilizaciones señalando eventos sociales, políticos y religiosos llegando al detalle, todo esto logrado por la habilidad del ejecutante a quien se le denomina campanero. Este mismo autor sostiene que para esta labor se requiere aprendizaje y práctica:

En general, el cargo de campanero se asoció al de sacristán, incluso señalado en las constituciones sinodales, al tratarse de empleado fijo con misiones concretas en el ámbito de su iglesia. Sin embargo, cuando el tañer de campanas obedeció a causas distintas de las religiosas, la documentación conservada en Pamplona demuestra que se contrató a indeterminados vecinos, con profesiones diferentes e independientemente de su estado clerical. Así, respecto al llamado toque de queda, se formalizaron escrituras donde se disponían cláusulas estipuladas con toda clase de requisitos legales entre el ayuntamiento y el ajustado, con validez anual y estipendio fijo; el municipio pagaba y exigía estricta puntualidad en la emisión de los sonos en señaladas horas, variables según los meses. Cuando se dispusieron observadores en las atalayas parroquiales, gozaban de autorización para el campaneó, si bien resultó frecuente recurrir al especializado sacristán, incluso al plantearse situaciones de urgencia que obligaban al inmediato tañido campanil. (p. 167)

Otro testimonio relacionado con esto se encontró en el libro de cuentas corrientes de la catedral de San José de Cúcuta del año 1923, donde se da fe de la existencia de un campanero quien contaba en esos momentos con un salario de \$3 pesos mensuales, situación que cambia tras el pasar de los años y la reducción litúrgica a la que contribuyó el Concilio Vaticano II, según lo anunciado en varios capítulos. Al respecto, Llop (2017) la incluye como una de las causas de la desaparición de los campaneros hacia la década de los 60, donde se renunció a tradiciones como el toque manual de las campanas acogiendo sistemas mecanizados. Sin embargo, en la catedral la tradición del toque manual se preserva, convirtiéndose en un lenguaje comunicativo que durante más de 100 años ha forjado un paisaje sonoro en la vida cotidiana de San José de Cúcuta.

## Discusiones acerca de su capacidad sonora

A fin de aplicar el método de superposición modal para el análisis dinámico válido para sistemas mdof (sistemas de varios grados de libertad) con amortiguamiento viscoso (Tedesco y Desert, 2002), manifiesto en la ecuación (1), donde  $[m]$  representa la matriz de la masa del sistema,  $[k]$  la matriz de rigidez,  $\{x\}$  el vector de

desplazamientos, se realizan simplificaciones geométricas sobre modelo, al tener como hipótesis que la torre se desconecta del resto de la nave al ser construida en diferentes etapas.

$$[m] - \{x\} + [k] * \{x\} = \{0\} \quad (1)$$

El sistema analizado posee un coeficiente de amortiguamiento muy bajo, por lo que frecuencias propias de la vibración libre coinciden con un sistema sin amortiguamiento. Para la determinación de las características de las campanas se sigue el procedimiento de Heyman y Therefall (1976), con el fin de ajustar el modelo numérico a través de ensayos (Bachmann *et al.*, 1997). Las obras de Casolo (1998) fijan las principales frecuencias en torsión y flexión entre 0,62 Hz y 2 Hz para torres esbeltas. Se realiza proceso interactivo para ajustar el modelo y conseguir 1120 grados de libertad a fin de que el primer modo de vibración del modelo numérico y de la estructura real coincida. Las cuatro campanas poseen yugos metálicos de bronce de volteo manual, suspendidas en vigas metálicas ancladas en diagonal en la torre. Las campanas no giran a velocidad constante al ser independientes, la simulación matemática del movimiento se realiza considerando la campana como péndulo físico que oscila libremente alrededor de su eje. Con el péndulo en su posición máxima la energía potencial inicia el movimiento con velocidad de cada campana acorde con el número de golpes de badajo durante un minuto dividiendo por dos. Este movimiento introduce sobre su apoyo fuerzas horizontales y verticales variables con el tiempo, transmitidas a la barra soporte y a la estructura de la torre. El peso, determinado por el diámetro en metros elevado al cubo multiplicado por una constante, 579 (Tedesco y Desert, 2002).

$$\emptyset^3 x 579 = kg \text{ campana Colombia } (2)$$

$$\emptyset^3 x 357 = kg \text{ campana romana } (3)$$

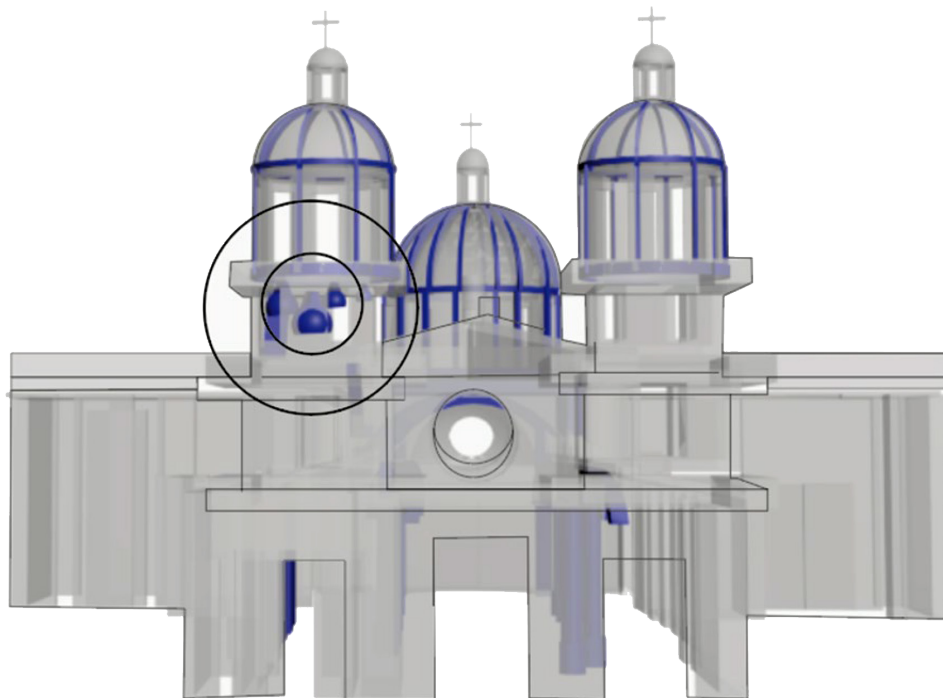
En el caso de las campanas romanas, la fórmula varía por las características del perfil y el grosor de las mismas, siendo la constante 357, es decir, un 40% menos. Al hacer estos cálculos se excluye al peso de la campana, ya que después hay que añadir el peso del yugo. En el caso de uno de madera, puede pesar tres cuartas partes del total de la campana, mientras que si es de hierro tendrá aproximadamente la mitad del peso del bronce (Llop, 2017).

Es posible que, en la distribución de las campanas dentro de la sala o nave, intervienen variables de tipo acústico y constructivo, estructural y funcional. La conjunción de las mismas define la disposición de los vasos según su número, dimensión, afinación, sistema de accionamiento, especialización de uso y orientación en relación con el espacio urbano inmediato y lejano. En general las campanas se disponen en los vanos de la sala, las más graves por debajo de las más pequeñas o agudas, asegurando un mayor alcance de sonido. Lo anterior determina posibilidades y



limitaciones en el accionamiento de los vasos y en la calidad sonora del instrumento de la torre y del espacio urbano en el cual se inserta (ver figura 51).

**Figura 51. Disposición de las campanas en la estructura arquitectónica, vista frontal.**



Fuente: visualización 3D por Catherine Contreras Torres.

Dada la característica de la torre y las cuatro campanas instaladas, el efecto es considerable al introducir campanas de menor peso esfuerzos superiores en la torre que las de mayor peso donde la estabilidad está garantizada, si bien pueden producirse efectos locales de agrietamiento en las cercanías de los puntos de sujeción de las campanas.

Con respecto a su análisis acústico, la estructura ubicada en el centro de la sala poligonal con campanas perimetrales suspendidas a disímiles alturas dispone de cuatro campanas de diferente tamaño, organizadas en triángulo en conjunto. Se observa la escasez como conjunto afinado o carrillones para sostener armónicos. El espacio posee un volumen relativamente cúbico con encuentros redondeados en planta, pero no en sección. En Cúcuta el diámetro medio es de 134 cm (4c\_70-110 cm), presentando un diámetro y peso medio estable en relación con el número de campanas. La sonoridad de la ciudad se enfatiza por la escritura plurifocal, para lo cual se utiliza la campana mayor como pedal grave el cual al densificar la masa sónica asegura la permanencia del retoque cuyos parciales se encuentran afinados con cierta oscilación, en una nota aproximada de Do, aumentada por la condición

climatológica de la ciudad, el cual influye en el aumento de intensidad y distribución de la onda sonora de este espacio urbano.

Las dos campanas grandes, Santa Madre y campana mayor Sagrado Corazón, se disponen en la misma cara, dos a la plaza de accesos y dos hacia el costado opuesto en una cara contigua a la anterior. La disposición de este conjunto refleja cierta atención al espacio urbano inmediato en el que se inserta la catedral, en el cual, las campanas de mayor tamaño se orientan al acceso de la catedral. Analizar el sonido de la campana depende de la estructura interna y perfil, donde los parciales más importantes que forman parte del sonido son armónicos de una fundamental, por tanto, también aquellos que tienen una frecuencia múltiplo de la fundamental. A ellos hay que añadir unos parciales inarmónicos, que a diferencia de los armónicos no siguen la misma regla, sostiene Llop (2017).

La amplitud relativa de los parciales tiene como factor principal la ubicación del mazo, acorde a ello, en la catedral se reconocerían en los toques perfiles parciales hum, prima, quinta y k círculos nodales tal que transmiten una frecuencia en 4 y 6 meridianos y el número  $n$  de sus nodos meridionales 0 o 1, onda periférica con  $m=2$  meridianos, modo de vibración RIR-Ring con una desviación entre el 0,5 al 5 % de la frecuencia deseada. Análisis del conjunto formado por cuatro campanas, con diferencia de diámetro proporcional entre ellas, muestra que cada campana tiene una relación distinta respecto a la ideal, lo que provoca que, más allá de la afinación propia, la relativa esté desproporcionada. De igual manera, la disposición en cuatro niveles genera efecto en el esfuerzo transmitido a la torre por el peso y accionamiento de las campanas de mayor a menor diámetro para el caso de las pequeñas, lo cual, al situarse las campanas más pequeñas por encima de las mayores, estas mayores no amplifican los empujes de las primeras, por otra parte, las frecuencias agudas se propagan en línea recta frente a las más graves que lo hacen omnidireccionalmente. De este modo, las más agudas al disponerse sobre las más graves difunden linealmente sus parciales sin encontrar obstáculo en la propagación de su sonido (ver tabla 4).

**Tabla 4. Análisis de modos de vibración de las campanas**

Campana	Santa Madre	Sagrado Corazón	San Luis	San José
hum	Mi 3-11	do 3+02	Do 5+00	sib 3-45
hum frec	154	131	273	225
prima	Do 5-49	re 4+13	Do 6+00	reb 5-07
3a	sol 4+13	fa #4-18	523	si 5-46
3a frec	389	366		961
5a	Do 5+36	si 4-42	sol 6+01	do 6+49
5a frec		480		1075
nominal	sib 5+37	mib 5+24	mi 6-25	Do 6+08
nom frec	667	631	1299	1267
diámetro	110	127	57	70

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, hay una disposición de las dos campanas medianas que posibilita la interferencia de ondas sonoras en su accionar conjunto. De igual manera se dispuso la campana mayor por encima de la de mayor tamaño y la campana de menor tamaño se dispone debajo de uno de los huecos de la torre, lo que obstaculiza la propagación sonora, a pesar de ello, se reporta escucha nítida e intensa. Si bien el comportamiento estructural de la torre motiva la disposición de los vasos en altura, ciertas disposiciones señalan la falta de atención en algunos requerimientos acústicos. De acuerdo con la ecuación 1, los valores de las frecuencias propias se tiene un  $w_1 = 0,014\sqrt{\frac{E}{\rho}}$  (rad/s),  $w_1 = 0,014\sqrt{\frac{E}{\rho}}$  (rad/s),  $w_1 = 0,014\sqrt{\frac{E}{\rho}}$  (rad/s),  $w_1 = 0,014\sqrt{\frac{E}{\rho}}$  (rad/s), para ladrillo común con densidad 1600 kg/m<sup>3</sup>, resistencia normal entre 0,8 y 2,4 MPa, y para su modo de elasticidad de  $9,5 * 10^6 \omega^2 (\frac{N}{m^2})$ . Frecuencias propias en el sistema oscilan entonces entre 0,62 Hz y 2 Hz, en un modelo de 4 masas con 3 grados de libertad con módulo de elasticidad medio de  $1,5 * 10^6 (\frac{N}{m^2})$  converge finalmente para 1150 grados de libertad a  $5,2 * 10^6 (\frac{N}{m^2})$ .

Consecuente al movimiento oscilatorio de cada campana, se introduce sobre los apoyos fuerzas horizontales y verticales variables con el tiempo, transmitidas a la estructura de la torre, la cual presenta gran rigidez en dirección a su eje longitudinal. Un análisis de frecuencia (ver tabla 5) permite deducir que la campana que presenta mayor proximidad en su primer armónico es Sagrado Corazón, de ahí que sea la que tiene mayor problema. Los valores de factor de amplificación permiten concluir que en un análisis cuasi estático las fuerzas introducidas por la campana Sagrado Corazón es la más desfavorable para la estructura. Lo anterior dada la disposición en la misma viga conjunta a la otra campana de mediano peso y dada su ubicación por encima de la de menor peso.

**Tabla 5. Armónicos, factor de amplificación y fuerza horizontal introducida por cada campana**

	1	2	3	Factor de amplificación dinámico	Fuerza horizontal N
Santa Madre de Dios	0,4	0,9	1,4	2	4000
Sagrado Corazón de Jesús	0,61	1,25	1,9	27	40000
San Luis	0,7	1,5	2,1	11	7500
San José	1	2	0,1	1	180

Fuente: elaboración propia.

La evaluación del estado tensional de la torre permite afirmar que el elevado peso propio aproximadamente de  $1,7 \times 10^7 N$  presenta en su base un problema de flexión compuesta en el cual la tensión de compresión es el valor predominante.

Las disposiciones analizadas concuerdan con Francesc Llop (2017) en su estudio de campanarios conservando referentes de plantas poligonales como en regiones de Aragón y La Rioja en España, al igual en su estudio el campanario se sitúa en el centro. En relación con el tipo de cubrición de la sala, se advierte positiva la bóveda de la cúpula cuya curvatura favorezca la reflexión del sonido y su propagación al exterior. Así mismo, la desaparición de los ángulos mejora la reflexión de los parciales de las campanas y se aumenta la potencia. Tal como lo señala Llop, en el caso de la campana histórica españolas, la campana San José es fina y, por tanto, más graves sus notas, que la otra de diámetro semejante de San Luis, pero más gruesa. La diferencia no es solo de altura de nota, también es de potencia sonora, a mayor grosor de las paredes la campana es más aguda y como también la masa es mayor, la potencia sonora crece (Llop 2017).

Tal como se señala en textos ontológicos de Thurston (1907), solemne era el toque de las tres de la tarde; en el caso de la catedral, dado por la pequeña campana, que, por medio de golpes interpolados sobre el campamento del callejón recordaban la pasión, en memoria de la cual y de las víctimas del terremoto, los devotos rezaban tres credos, hincados de rodillas, en las calles. Por otra parte, a pesar de presentar elevados factores de amplificación dinámico, las fuerzas horizontales introducidas por el volteo no presentan magnitud relevante respecto a la rigidez de flexión de la torre. El factor que potencia el valor se debe a que las campanas no se encuentran bien equilibradas, por lo cual deben reubicarse la campana Sagrado Corazón por debajo de la campana Santa Madre, en torno a viga de apoyo común, debería alejarse un 20 % de la primera frecuencia propia de la torre. No obstante, la seguridad estructural está garantizada. En este caso la campana de mayor peso introduce mayor esfuerzo, se hace necesario diseñar anclajes de las campanas a la torre para los esfuerzos calculados a través de análisis dinámico, siendo la campana Sagrado Corazón la que presenta mayores fuerzas horizontales.