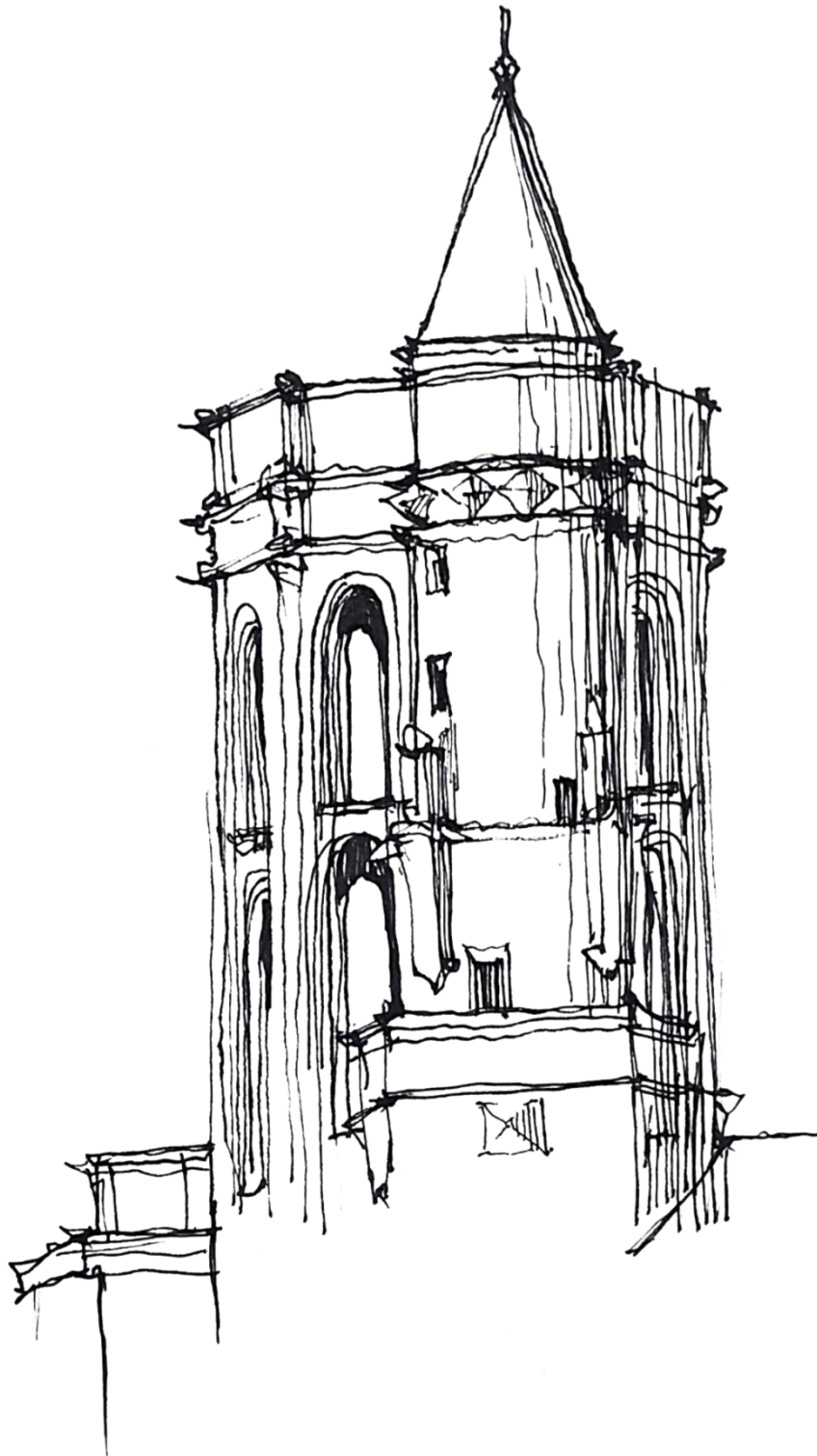


**LA TORRE DE SOTO IRUZ:**  
HISTORIA, CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURA.



IRENE ALONSO MARQUÉS



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

**Irene Alonso Marqués**

*La torre de Soto Iruz:  
historia, construcción y estructura.*

# LA TORRE DE SOTO IRUZ: HISTORIA, CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURA.

*Estudiante*

Irene Alonso Marqués

*Tutor*

Santiago Huerta Fernández

Departamento de Estructura y Física de edificación.

*Aula 5*

María Barbero Liñán

José Antonio Flores Soto

2 de junio de 2023

Universidad Politécnica de Madrid

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al conocimiento popular de la gente que ha vivido la torre y lo ha transmitido a las generaciones posteriores. También a los que han preservado los documentos históricos y han dedicado su vida a recoger y divulgar la información de lugares olvidados como este.

Especial agradecimiento a los sacerdotes de Nuestra Señora del Soto por haberme permitido el acceso a todas las instalaciones y a María, custodia de las llaves que me guio en los primeros momentos por las dependencias.

Agradezco a Francisco Gutiérrez del Centro de Estudios Montañeses por recibirme y por su disposición, al Archivo Provincial y Diocesano de Santander y a José Sainz-Pardo, vecino de El Soto, por proporcionarnos tanta información y libros que de otra manera hubiera sido imposible encontrar.

A mi tutor Santiago Huerta por darnos a conocer el mundo de las estructuras de fábrica y patrimonio, a mis padres Juan Pablo y María José por ayudarme en todo el proceso y a muchas otras personas que me han ayudado puntualmente, que me han abierto los ojos sobre la importancia de la tradición oral.



# ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1 INVESTIGACIÓN HISTÓRICA

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| El Valle de Toranzo                   | 5  |
| El Santuario desde sus orígenes       | 9  |
| Actualidad e intervenciones recientes | 11 |

2 LEVANTAMIENTO Y GEOMETRÍA

|   |    |
|---|----|
| Descripción global                            | 13 |
| Proceso de medición y levantamiento de planos | 14 |
| Hipótesis de trazas                           | 17 |

3 CONSTRUCCIÓN

|                      |    |
|----------------------|----|
| La escalera          | 21 |
| El cuerpo base       | 25 |
| El cuerpo intermedio | 29 |
| Espacio de descarga  | 32 |
| El cuerpo campanario | 37 |

4 ESTRUCTURA

|  |    |
|--|----|
| Hipótesis inicial y primeros acercamientos | 45 |
| Cálculo de estabilidad                     | 46 |
| Posible proyecto original de coronación    | 58 |

CONCLUSIONES 65

BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS DIGITALES



## RESUMEN

La torre de Nuestra Señora del Soto es una esbelta construcción octogonal del patrimonio cántabro, representante del gótico tardío, que destaca por su belleza y singularidad en toda la provincia de Cantabria. Está datada en 1573, según la inscripción grabada en la cornisa de la terraza superior; sin embargo, no se tienen muchos detalles de su historia y construcción.

Los objetivos de este trabajo son: i) recopilar toda la información que se conserva en muy diversas fuentes, libros (a veces descatalogados), conocimiento de tradición oral, archivos diocesanos, Centro de Estudios Montañeses o bibliotecas provinciales, ii) elaborar un documento gráfico completo del levantamiento de la torre y estudiar sus características constructivas y estructurales y iii) plantear hipótesis sobre su comportamiento estructural y sus orígenes y buscar analogías con otras construcciones similares.

El proceso de levantamiento de la torre me ha permitido descubrir elementos constructivos únicos como la escalera de caracol de ojo abierto, sistemas de transmisión de cargas ocultos o evidencias de su posible proyecto original. Todo ello se recoge en este trabajo para comprender la torre de El Soto desde su pasado, su estado actual y el que podría haber sido su presente.

### PALABRAS CLAVE

Torres de fábrica · siglo XVI · Nuestra Señora del Soto · Geometría y trazado · Rodrigo Gil de Hontañón · Aguja · Escalera de caracol



## INTRODUCCIÓN

En una pequeña pedanía del Valle de Toranzo se encuentra el Santuario de Nuestra Señora del Soto. Este conjunto destaca en el perfil del valle por su extraordinaria torre, que se alza sobre las cubiertas de Soto Iruz.

Es su elegante volumetría, compuesta por unos marcados cuerpos, la que dota a esta torre de una apariencia única en Cantabria. Esta es precisamente la motivación de este trabajo. Mi familia es de un pequeño pueblo cercano al Soto y desde pequeña me han enseñado esta torre como una joya casi olvidada de nuestro patrimonio local. Siempre me ha resultado muy enigmática debido a su esbelta composición y enclave, pues el pueblo donde se encuentra tiene apenas 400 habitantes.

Este trabajo de investigación pretende recopilar toda la información que se conserva acerca de la torre y elaborar hipótesis sobre su construcción y origen. Debido a la antigüedad del monumento no se conserva casi información y este ha sido uno de los mayores obstáculos del trabajo. Comienzo por indagar en las bibliotecas buscando autores que se hayan especializado en patrimonio cántabro, sin mucho éxito. Sin embargo, es en el Centro de Estudios Montañeses donde encuentro el libro básico del trabajo: *El Valle de Toranzo* de González Echegaray.

Comienzo con una recapitulación de las etapas históricas del enclave del Santuario, así como del Valle de Toranzo. Pese a ser una construcción del siglo XVI, más concretamente acabada en 1573, el origen de este preciso emplazamiento data del siglo VIII. Desde entonces este lugar del Soto ha sido ermita, hospital, iglesia, monasterio y Casa Diocesana.

Conocer su contexto histórico es de vital importancia para comprender la construcción y geometría de la torre. Debido a la escasa documentación conservada, este trabajo se apoya en el conocimiento de tradición oral de los vecinos de la zona y en la elaboración de un levantamiento de la torre mediante varias visitas para realizar el trabajo de campo. Esta labor comienza desde el desconocimiento total del interior de la torre y sus dependencias, de esta manera voy descubriendo poco a poco y matizando las medidas y anotaciones tomadas en cada visita.

El proceso de medición se hace de una manera tradicional, yendo estancia por estancia, anotando generalidades y particularidades para luego elaborar el documento de levantamiento.

Se trata de una torre con una base cúbica sobre la que apoya un octógono calado por esbeltos arcos de medio punto. No pasa desapercibida la espectacular escalera de caracol de ojo abierto, que comunica todas estancias, y es precisamente ésta la que articula el proceso de medición y la elaboración de este trabajo. Esta escalera se encuentra dentro de un cilindro coronado por un cono, que se macla al octógono en una de las esquinas de la base y discurre verticalmente en paralelo a la torre.

En esta investigación se trata de analizar esta torre desde la historia, la construcción y la estructura para abrir un futuro nicho de estudio. Se desarrolla su contexto, se describen y analizan las técnicas constructivas y elementos singulares, así como el cálculo de estabilidad de la torre. Además, se formulan una serie de hipótesis basadas en la propia geometría de la torre y en analogías con otras construcciones históricas.





## 1. INVESTIGACIÓN HISTÓRICA

### El Valle de Toranzo

El santuario de Nuestra Señora del Soto se encuentra ubicado en el Valle de Toranzo, uno de los valles estructurantes del interior de Cantabria. Este valle se extiende desde el cruce de los ríos Pas y Pisueña hasta el puerto de El Escudo y alberga enclaves históricos de gran importancia, como las Cuevas de Monte Castillo o el Yacimiento de La Espina del Gallego, castros de tribus cántabras y campamentos romanos.

Este valle siempre ha estado habitado con asentamientos permanentes debido a su situación privilegiada junto al río y su gran riqueza ambiental. Esta ocupación permanente puede ser debida a un cierto halo de misticismo alrededor del Monte del Castillo, una montaña rocosa que, en el perfil del valle, destaca por ser, desde ciertos puntos de vista, un volumen cónico casi perfecto, muy marcado y puro (Fig. 1.1), que probablemente fuera lo que llevara a los hombres prehistóricos a asentarse en su ladera, aprovechando además la existencia de grutas naturales en el macizo calizo.

Fig. 1.1 -Vista desde el monte Pando del Monte del Castillo. Elaboración propia



Este asentamiento presenta evidencias de ocupación humana desde hace al menos 150 000 años y presenta una estructura de hormiguero que podría compararse a las grandes urbes de hoy en día, pues se trata de un complicado entramado de galerías en el que se produjeron las primeras ocupaciones del *Homo sapiens* en Europa, así como las primeras industrias del Paleolítico Superior. Se conservan en estas cuevas de importancia mundial las actividades gráficas y pensamientos simbólicos de estos primeros habitantes, de hace entre 38000 y 11000 años.

Los pueblos que se asientan posteriormente a lo largo del Pas se estructuran, más allá de la orografía del valle y sus accidentes geográficos, por el Camino Real que conectaba con Castilla. Entre estos dos ejes, el Pas y el Camino, sensiblemente paralelos y de dirección norte-sur, se instalan los pueblos del Valle de Toranzo.

Fig. 1.2 – Vista del Valle de Toranzo desde Pando, con el Río Pas. Elaboración propia



Aunque el ancho del valle es variable, se ve notablemente estrangulado en su extremo norte al cruzarse con la cordillera del Dobra. Es precisamente en esa intersección donde se sitúa el Monte del Castillo y muy cerca, en la ribera del río, el Santuario del Soto, objeto de este trabajo.

Como se describe en el libro de González Echeagaray (1974), el Pas, en su “lado amigo”, alimentaba a los molinos que trabajaban el trigo y el maíz, llenaba los pozos y traía los salmones para la pesca. Sin embargo, su “lado enemigo” era y es responsable de las crecidas otoñales que, con el aumento de caudal, se llevaban consigo

puentes, casas y molinos. Esto marcaba etapas en la vida de los valles, en los que se reconstruían estas edificaciones cada vez más lejos del Pas. Esta tendencia histórica se ve muy bien retratada en la ubicación de Nuestra Señora del Soto que, dentro de su gran parcela, se encuentra en un emplazamiento completamente seguro frente a las crecidas del río, incluso con periodos de retorno de hasta 500 años (Fig. 1.3.).

Cantabria perteneció, como muchas otras provincias, a las Asturias de Santillana, una comarca histórica que se extendió desde 1300 hasta 1778. En esta comarca se asientan diversos talleres de canteros que se dividen el territorio en áreas de trabajo, y serán éstos los que construyan el patrimonio basándose en las trazas encargadas al arquitecto. El Valle de Toranzo pertenecía así a la parte de los Talleres Orientales, que son: Honor de Miengo, Valle de Buelna y Cayón, como talleres principales, y Selaya, Penagos y Santander como talleres más tardíos y secundarios. Serán los canteros de Cayón los que se ocuparán de la construcción del Santuario en el último siglo del periodo franciscano. La identidad de los canteros anteriores, responsables de la construcción de la torre, sigue siendo una incógnita.

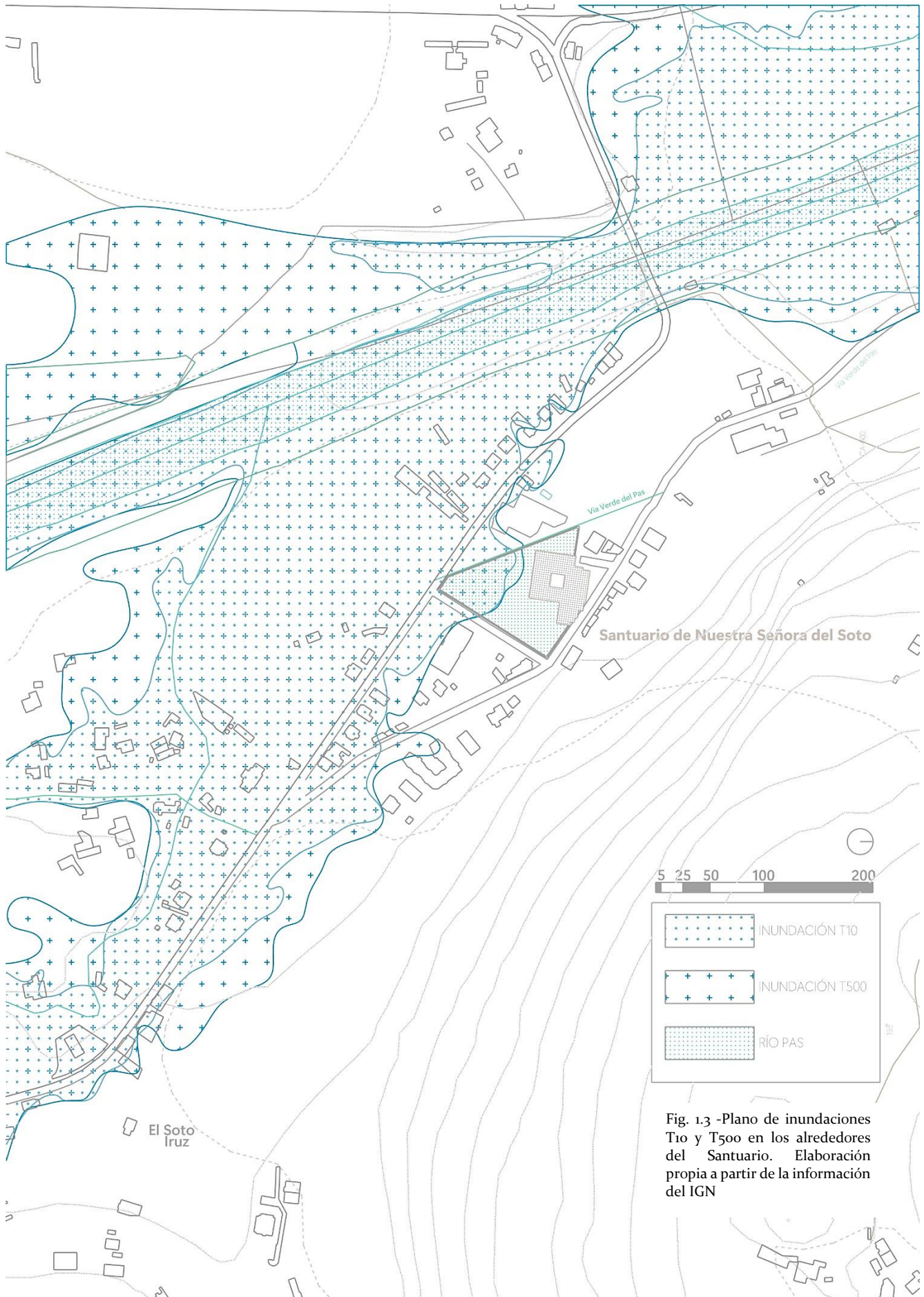


Fig. 1.3 -Plano de inundaciones T10 y T500 en los alrededores del Santuario. Elaboración propia a partir de la información del IGN

## El Santuario desde sus orígenes



Fig. 1.4 - Inscripción en mármol de los orígenes del Santuario. DE LA VEGA HORMAECHEA, Pedro. El Santuario del Soto según Crissanto.

Aunque el origen no es demasiado conocido, se sabe que la ubicación del Santuario se remonta al siglo VIII. En el interior del claustro, se encuentra una réplica de una antigua inscripción en mármol que decía:

*“Ovechus port in honorem S.Crucis a rei in coelo conspectae dum cum mauris praeliaretur Pro Ildefonsi Rege Hospicium hocce condere decrevit. Aera DCCLXXII”*

*“Oveco, para honor de Santa Cruz mandó que se edificara un hospital, cuando estando luchando con los soldados contra los moros, vio aparecerse esta Santa Señal en el cielo. Peleaba a las órdenes del Rey Alfonso en la Era de 772 (734)” (Juan de Portilla)*

Los historiadores dudan de la existencia de la inscripción original, pero se dice que ésta puede haberse quedado en algún estrato de los gruesos muros de la iglesia, que han sido objeto de numerosas ampliaciones durante toda su trayectoria. Aunque el origen y el motivo del hospital no está claro, sí hay evidencias de su existencia hasta al menos el siglo XV.

El santuario a lo largo de su historia es tomado por distintas órdenes, se sabe que en 1570 son los dominicos los que se encargan del convento, pero su estancia no es muy duradera, ya que son expulsados en 1608 con la llegada de los franciscanos a los valles de Cantabria, dejando como único legado la torre que hoy se puede ver en el Santuario.

Hasta la llegada de los franciscanos y el inicio de las obras y nuevas construcciones, el Santuario de Nuestra Señora del Soto se compone de una pequeña ermita, la torre y una casa hospital. Es en 1608 con el arranque de obras cuando se encarga al arquitecto Juan de Naveda la proyección de un pabellón de celdas y una nueva iglesia. La construcción de estas nuevas dependencias supone la desaparición de la ermita y de la casa hospital. Se menciona en el libro de Losada Varela, *La Arquitectura de Juan Naveda*, la ampliación de las obras que se le encargan al arquitecto, en las que se construye un nuevo claustro, ya que, tal y como expresada Losada Varela, el antiguo claustro gótico no estaba en buenas condiciones.



Fig. 1.5 -Vista de la torre desde el claustro. GONZÁLEZ ECHEGARAY, María del Carmen, 1974. Toranzo. Datos para la historia y etnografía de un valle montaños.

El conjunto de obras acaba, en principio, en 1634 y se mantiene como convento hasta 1680, cuando empieza a funcionar como monasterio. El Monasterio del Soto es una de las grandes obras de los canteros de Cayón, más específicamente de Francisco y Gaspar de la Cuesta Obregón, quien en 1731 culmina la transformación del Monasterio del Soto añadiéndole el Dormitorio General.

Fig. 1.6 - Vista del Santuario antes de la expropiación para el ferrocarril 1900. DE LA VEGA HORMAECHEA, Pedro. El Santuario del Soto según Crissanto.



El Monasterio queda como lo dejan los franciscanos hasta un siglo más tarde. En 1836 lo abandonan y no es hasta 1899 cuando lo ocupan las carmelitas, que permanecen en él hasta 1981, momento en el que empiezan las intervenciones más recientes. Incluso en el libro de Madoz (1845) se menciona como un santuario abandonado, donde solo viven un cura y un prior.

### Actualidad e intervenciones recientes

Debido a su valor patrimonial, en las últimas décadas el Convento del Soto ha sido objeto de algunas intervenciones de restauración. Tras el paso de las carmelitas se comienza un proceso de restauración en dos fases; la segunda de ellas comienza en el año 1988. No mucho más tarde, en 1996, se pone en marcha una Escuela Taller que durará hasta el año 2004, siendo objeto de esta intervención durante 8 años, básicamente el Convento, sus dependencias, y sus elementos históricos como la Virgen del Soto, que data del s XIII.

Desgraciadamente, el Santuario de Nuestra Señora del Soto no es declarado bien con protección patrimonial hasta 2001, quedando todas las intervenciones anteriores fuera de la supervisión del Despacho de Patrimonio. Debido a esto no se tiene documentación visada sobre las actuaciones en la torre, que se mencionarán más tarde.

A pesar de esta falta de documentación, durante la investigación, me doy cuenta de que las campanas instaladas son de los años 50. Todo apunta, por tanto, a que es en esta fecha cuando se realizan las intervenciones de los forjados de hormigón armado de la torre. Vecinos de la zona me hablaron de la necesidad de añadir estos forjados debido a un rayo que destruyó partes de la torre.

Hoy en día El Santuario de Nuestra Señora del Soto abre sus puertas a los turistas que, al ver la torre desde la carretera, se acercan a conocer el conjunto. El convento es ahora la Casa Diocesana de Espiritualidad; alberga grupos de estudiantes y retiros y organiza jornadas educativas y conferencias.

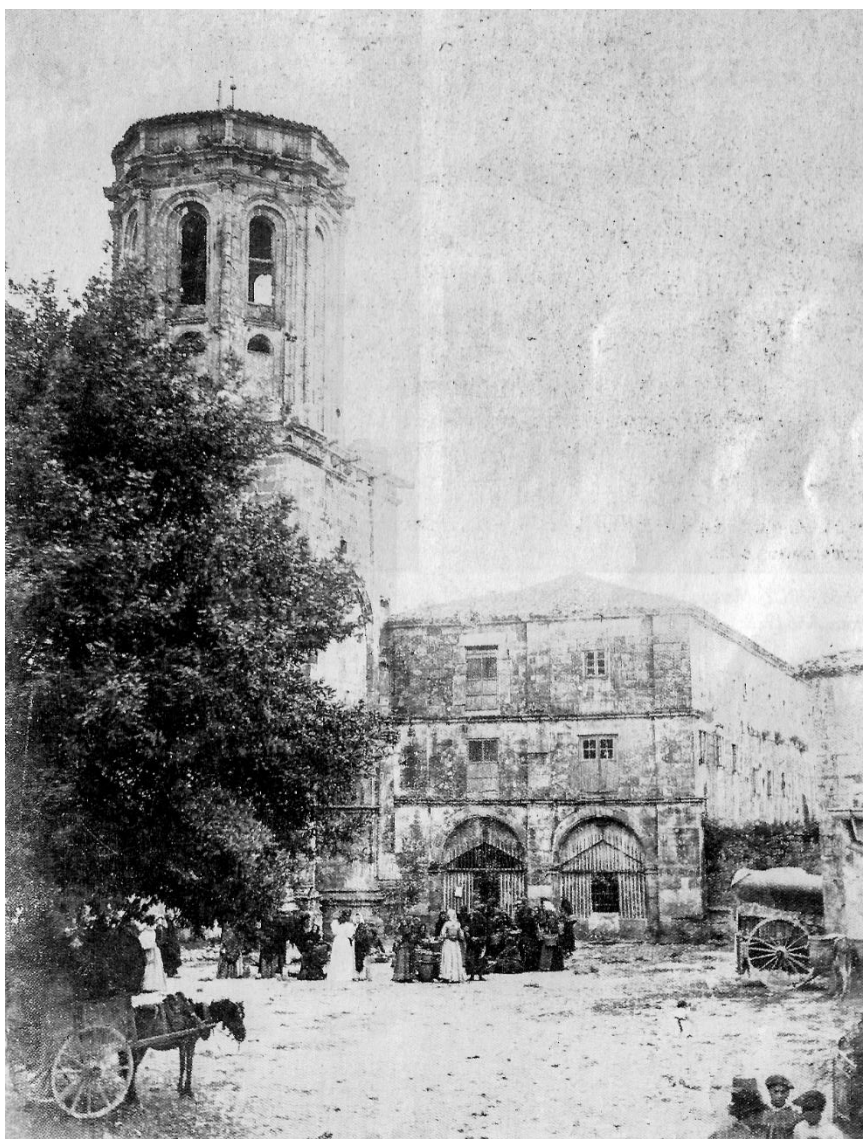


Fig. 1.7 - Comerciantes en la plaza del Santuario, 1900. VILLEGAS LÓPEZ, Ramón Imágenes para el recuerdo.

### Descripción global

En el trayecto por la carretera nacional hacia el Puerto de El Escudo, a mano izquierda se encuentra la desviación que lleva hasta el pueblo de Soto Iruz. Dentro del pueblo, el antiguo monasterio se encuentra a los pies de la montaña, que lo separa de la pedanía de Pando, a escasos 200 metros del Río Pas. El convento se ubica en la esquina de la parcela, formando la plaza que acoge la entrada a este conjunto eclesiástico. Desde la plaza se puede ver la totalidad de la torre junto con el cuerpo de entrada al convento que está a mano derecha, una logia cubierta por bóvedas de crucería que sirven de espacio de transición al claustro.

La torre es un elemento que se compone de 3 cuerpos. Una base de planta cuadrada, muy opaca, de 2 plantas, sobre la que apoya, el octógono rasgado por esbeltos arcos de medio punto, que calan así las dos terrazas en las que se divide. A estos cuerpos se les adosa el cilindro coronado por un cono. En su interior se encuentra una escalera de caracol de ojo abierto, que parte de la base del interior de la iglesia y sube hasta la cubierta de la torre, cambiando de sección a medida que avanza.

Fig. 2.1 - Vista de la torre desde Pando. Elaboración propia.





Para el estudio de la torre dispongo de muy poca información, sobre todo gráfica, y por ello pretendo representar la totalidad de la torre a partir de sucesivas visitas y mediciones. Al ser una superposición de espacios conectados por la magnífica escalera, el reto es que coincidan todas las plantas a nivel constructivo y estructural, de manera que tengan sentido. Esta escalera supone una dificultad, pero a la vez una ayuda. Cuando se recorre la escalera de arriba abajo, se pierde la orientación y la noción de altura a la que uno se encuentra. Para poder usar la escalera como referencia y empezar a orientarse en ella, se marcan unas condiciones de partida y una correspondencia en función de esta.

El acceso a la escalera se da por la parte baja de torre, bajo la bóveda de recepción de la iglesia, por una pequeña puerta que pasa desapercibida. Se entra en el cañón del cilindro, que alberga toda esa estructura empotrada en sus paredes, dejando un óculo central. Se establece que cada 15 huellas, te encuentras en la posición de partida, es decir, con la iglesia a las espaldas y la entrada de frente. Partiendo de estas condiciones cuento las huellas para asociarlas a las salas y espacios a las que da acceso, usando así la escalera como columna vertebral del trabajo de medición y toma de datos. Por tanto, en lo sucesivo, se nombran las estancias H (huella) + N<sup>o</sup>.

Esta escalera cuenta con un total de 130 huellas que dan acceso a 6 salas o espacios, incluyendo la cubierta, de la siguiente manera:

H 22 - MONASTERIO

H 40 - SALA INTERMEDIA

H 66 - ESPACIO SUPERIOR DE BÓVEDAS

H 83 - PRIMERA TERRAZA

H 97 - SEGUNDA TERRAZA

H 127 - CUBIERTA

Una vez se tiene esta asignación de alturas comienzo la toma de medidas y alturas de las salas a las que la escalera da acceso.

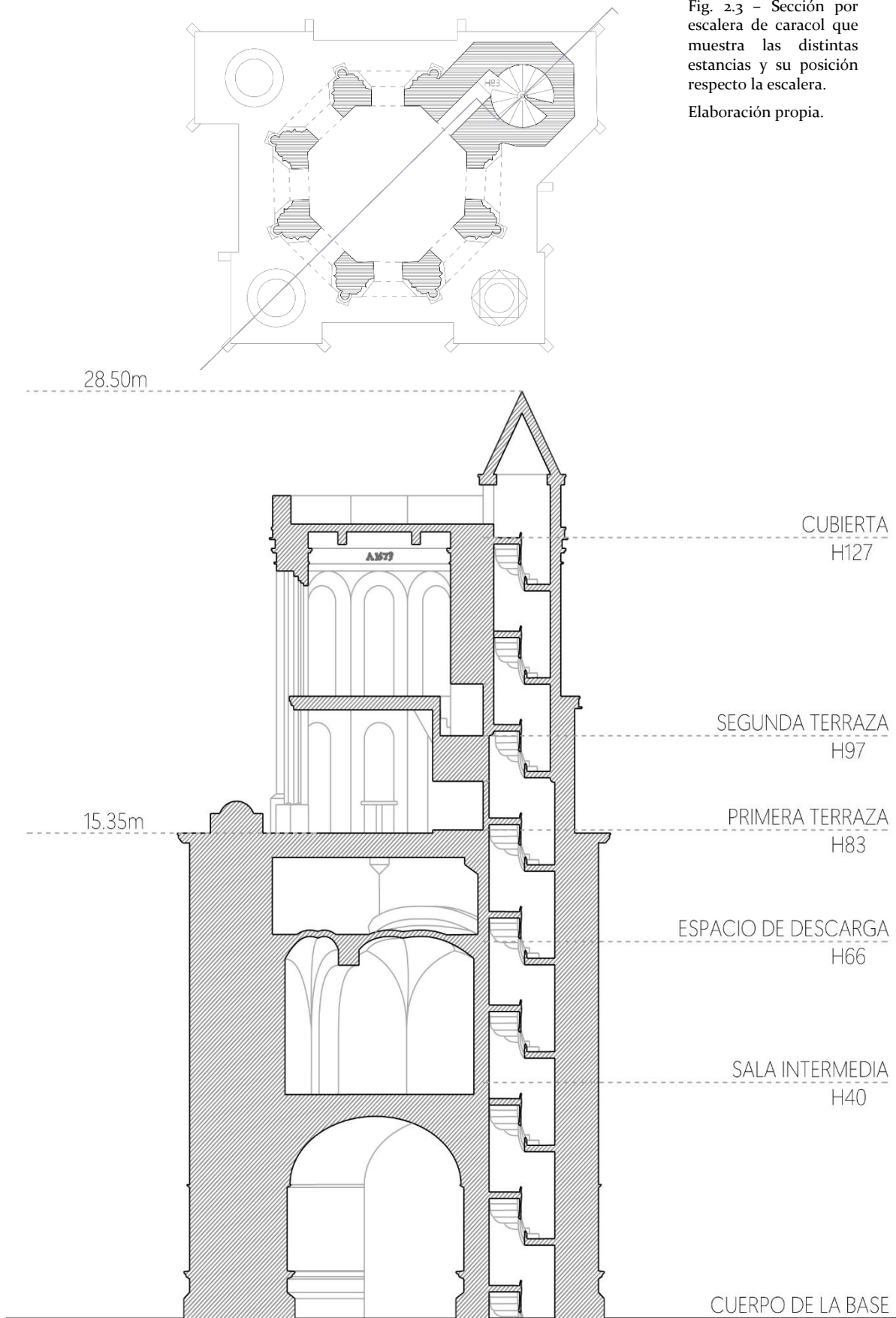


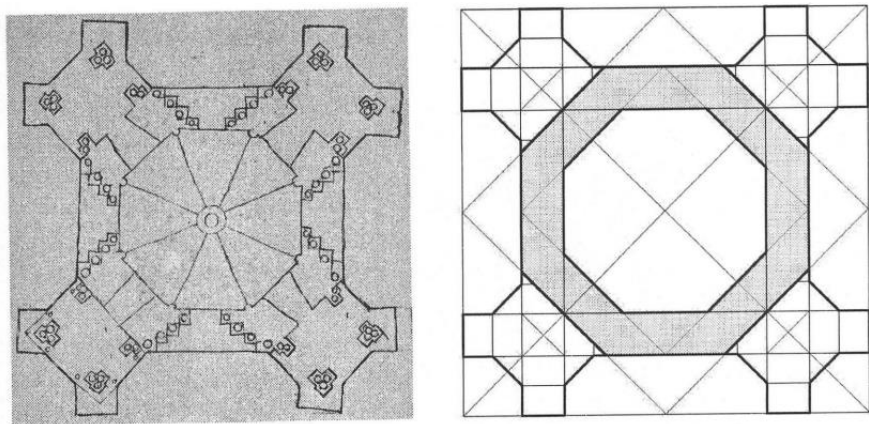
Fig. 2.3 - Sección por escalera de caracol que muestra las distintas estancias y su posición respecto la escalera.

Elaboración propia.

## Hipótesis de trazas

En este epígrafe del trabajo se pretende hacer una aproximación a lo que pudieron ser las trazas de construcción de la torre, proporcionadas por el propio arquitecto, ambos desconocidos. Desafortunadamente las trazas originales no se conservan o por lo menos no se tiene conocimiento de ellas, pues la primera documentación conocida del Soto Iruz es un bautizo en 1600. En cuanto a libros de fábricas, solo se conservan los posteriores de las etapas franciscanas. Esta hipótesis de trazas se basará, por tanto, en otros ejemplos de construcciones similares, un cuerpo octogonal sobre uno cúbico (Fig. 2.4).

Fig. 2.4 - Traza de la torre oeste de Laon por Villard Honnecourt y su geometría ideal. BORK, 2003. Great Spires. Skycrapers of the new Jerusalem



Las trazas que dibujaban los arquitectos eran instrucciones que los maestros canteros seguían para la construcción. Estos dibujos de la estereotomía de la piedra se caracterizan por su pureza y por el uso de reglas geométricas que fuesen guías factibles en obra y permitiesen su traslado a la materialidad física y facilitaran su labra y disposición.

Pese a la elaboración tan minuciosa de estas trazas, la realidad construida siempre dista algo de la dibujada, debido a la falta de precisión que se tenía con los antiguos instrumentos de medida. Algunas de estas trazas, por ejemplo, las de bóvedas, se grababan directamente en los suelos o paredes de las iglesias donde se estaban construyendo. Muy pocas veces estos documentos, que normalmente eran elaborados en pergaminos (un soporte “vivo” que se ensancha, estrecha o crece a lo largo de su vida) han llegado hasta nuestros días (Fig 2.5).

El conjunto de la torre deja muy claro la intención formal de construir un hito a base de volúmenes muy puros y perfectos geoméricamente hablando (Fig.2.1). Básicamente es un prisma sobre el que se le apoya un esbelto octógono rasgado por arcos de medio punto. Este cuerpo octogonal se macla con un cilindro coronado por un cono (Fig. 2.3).

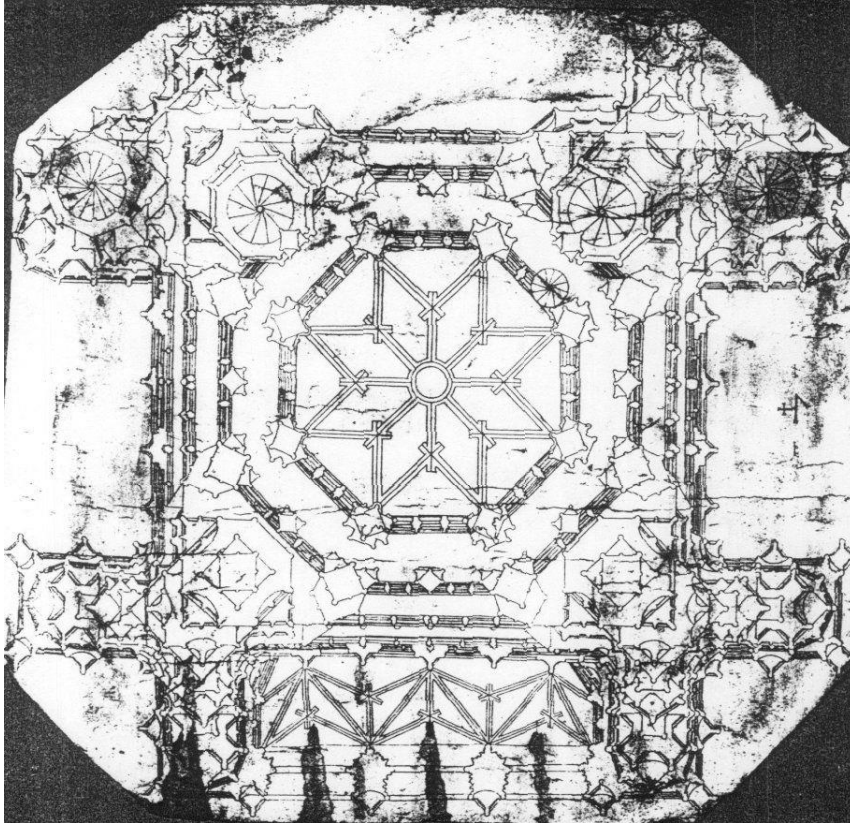
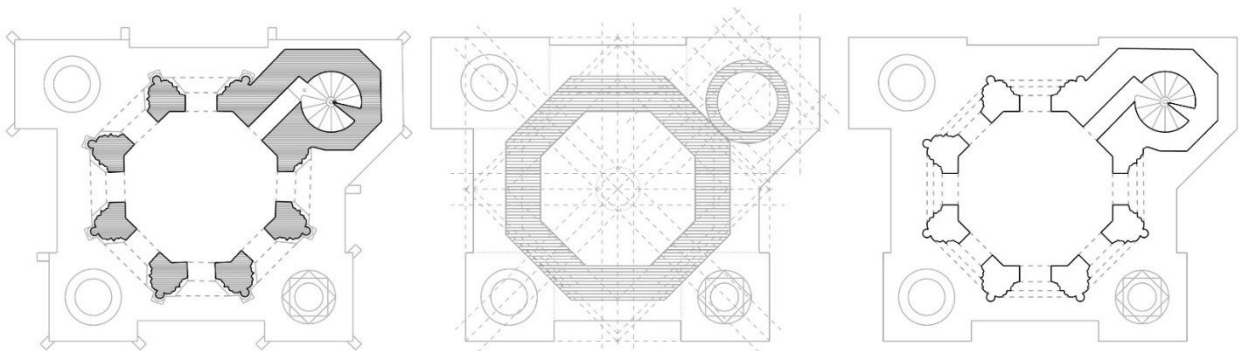


Fig. 2.5 - Traza de la aguja de Stephansdom, Viena. KOPF, Hans, 1969. Die gotischen Planrisse der Wiener Sammlungen.

Basándome en los patrones geoméricos que se pueden deducir de su desarrollo en planta, realizo la traza homogeneizada de lo que pienso que podría haber sido la original de la torre (Fig. 2.6).

Fig. 2.6 - Planta, reglas geoméricas y planta homogeneizada de la torre del Soto

Elaboración propia a partir de imágenes de BORK, 2003. Great Spires. Skycrapers of the new Jerusalem



En el proceso de medición y toma de datos de este trabajo se encuentra un patrón de medida, o módulo, que se repite en toda la construcción. Los sillares de piedra miden prácticamente siempre 31 cm. Esta medida es muy posible que fuese la medida estandarizada de la época, siendo muy parecida a un pie romano, 29,6 cm o un pie castellano de 27,86 cm. Históricamente las unidades de medida se deducían a partir de elementos comunes a todos, como son las partes del cuerpo, como pulgadas, pies, brazas, etc. Este lado antrópico de la metrología acaba trasladándose a la proyección de edificios en las épocas humanistas. De esta manera se empiezan a concebir las grandes construcciones con semejanzas a los humanos: en el Manuscrito de Rodrigo Gil de Hontañón se comparan las torres con el cuerpo de un hombre, los nervios de las bóvedas con los dedos de una mano y su espesor con las uñas (Fig. 2.7 y 2.8).

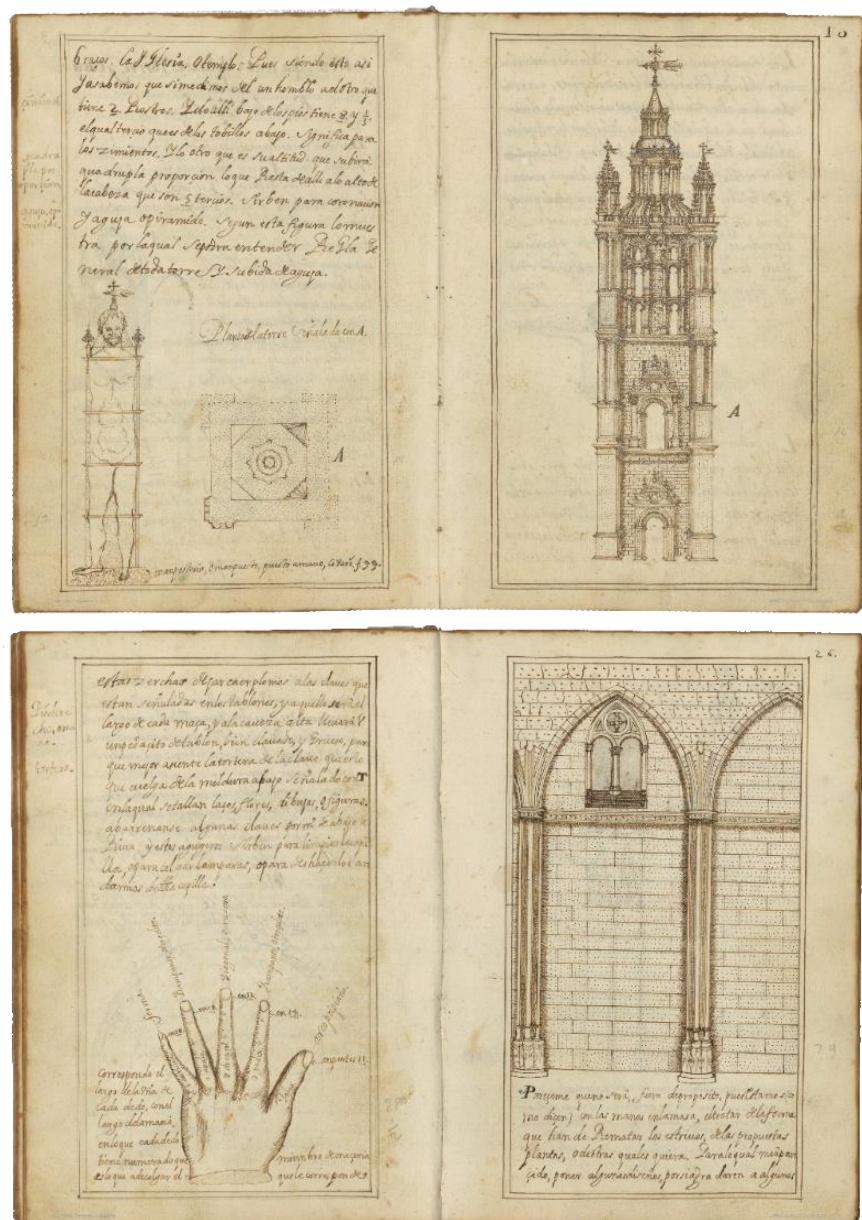


Fig. 2.7 y Fig. 2.8 -Extractos del manuscrito que ilustran la humanización de la arquitectura. GIL DE HONTAÑÓN, Rodrigo, 1681 copia de Simón García, Compendio de arquitectura y simetría de los templos

En el *Compendio de arquitectura y simetría de los templos* de Simón García (1681), transcrito por Cristina Rodicio Rodríguez (1991), se recogen las medidas de Gil de Hontañón relacionadas con la escalera de caracol de ojo abierto, o también denominada de Mallorca (Fig. 2.9). Establece que en una escalera hipotética de 10 ud., incluyendo parte empotrada, 8 deben ir al diámetro interior y 1 al ojo del caracol. Así mismo el “grueso de la moldura”, es decir, el nervio debe ser  $\frac{1}{3}$  del ojo y que cada vuelta debe de acabar encima de la puerta. Para que esto se produzca y no cabecee, la medida del peldaño se aconseja que sea o una cuarta de altura o un quinto de vara (0.209 m o 0.1672 m respectivamente).

Estos principios se ven reflejados en la escalera de Nuestra Señora del Soto, como se verá más adelante.

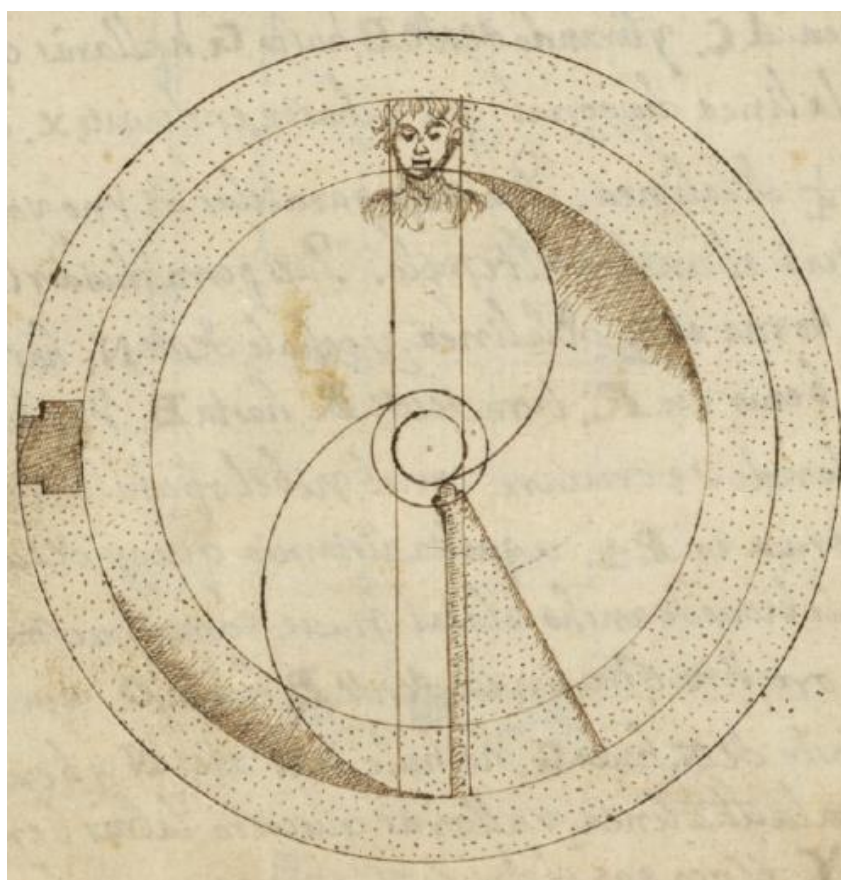


Fig. 2.9 - Extractos del manuscrito que ilustran la proporción de la escalera de ojo abierto. GIL DE HONTAÑÓN, Rodrigo, 1681 copia de Simón-García, *Compendio de arquitectura y simetría de los templos*

### 3. CONSTRUCCIÓN

#### La escalera

Podría decirse que la escalera de la torre del Santuario de Soto Iruz es el elemento más impresionante por sí solo de toda la construcción (Fig. 3.1). Se trata de una escalera de caracol de ojo abierto que comunica todas las estancias. Lo característico de este tipo de escaleras, y lo que sigue siendo una incógnita para los expertos, es la transmisión de cargas que se hace por ellas. Estas escaleras se forman mediante peldaños tallados en sillería, siendo el propio escalón la pared y el nervio central. Es este nervio el que transmite las cargas de la escalera de arriba abajo, por una geometría helicoidal. Se puede ver a lo largo de la escalera la clara voluntad de empotramiento en la pared y apoyo en el nervio, pues la junta en la parte del nervio está rejunteada y la arista entre escalón y escalón completamente separada (Fig. 3.2).

En la escalera del Santuario, se produce un cambio de sección; el arranque de la escalera se encuentra dentro del macizo derecho de la torre, teniendo un diámetro interior de 223,5 cm. Con esta sección se mantiene hasta la H77 (huella 77), y a partir de entonces, se reduce y pasa a tener un diámetro de 192 cm. Este estrechamiento se produce mediante unas piedras de sillería que sobresalen de la pared del diámetro mayor. Estos salientes son realmente la parte empotrada del muro, que al estrecharse sobresale en la sección mayor.

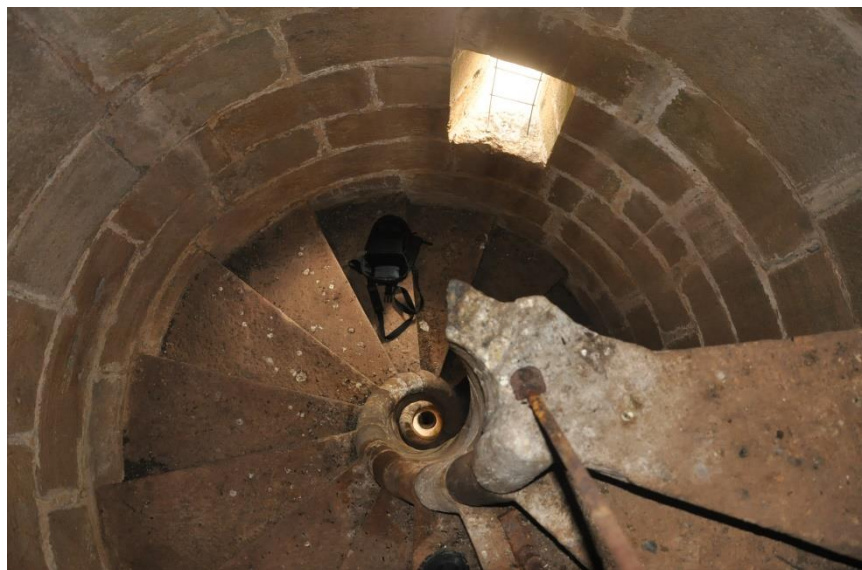


Fig. 3.1 - Imagen tomada desde lo alto del cilindro en la que se ve la sección del nervio. Elaboración propia.

Comparándolo con las reglas de Rodrigo Gil de Hontañón ya comentadas, cuando la escalera está en su sección mayor de 223,5 cm, el diámetro incluyendo el empotramiento sería de 279,375 cm, el ojo de 27,9 cm y el nervio de 9,3 cm. En su sección más pequeña, de 192 cm, el diámetro que incluiría el empotramiento debería ser 240 cm, el ojo 24 cm y el nervio 9 cm. La realidad es que la escalera tiene un ojo de 19 cm aproximadamente y un nervio de 9 cm, es decir, sí cumple las medidas del nervio en relación con el cilindro perimetral, pero el ojo es sensiblemente más pequeño. En cuanto al empotramiento en el muro, al solo poder medir el diámetro interior, establecemos  $8/10$  como 192 cm, resultando un diámetro con empotramiento de 240cm. El diámetro exterior que he podido medir desde las estrechas ventanas es de 260 cm. De esa manera se puede suponer que la totalidad del grosor del muro es de hecho, el empotramiento de los peldaños (Fig. 3.1).



Fig. 3.2 - Escalera de caracol de ojo abierto, imagen donde se puede ver el estrechamiento del cilindro y la separación entre peldaños que evidencian el funcionamiento estructural de la escalera a través del nervio. Elaboración propia.

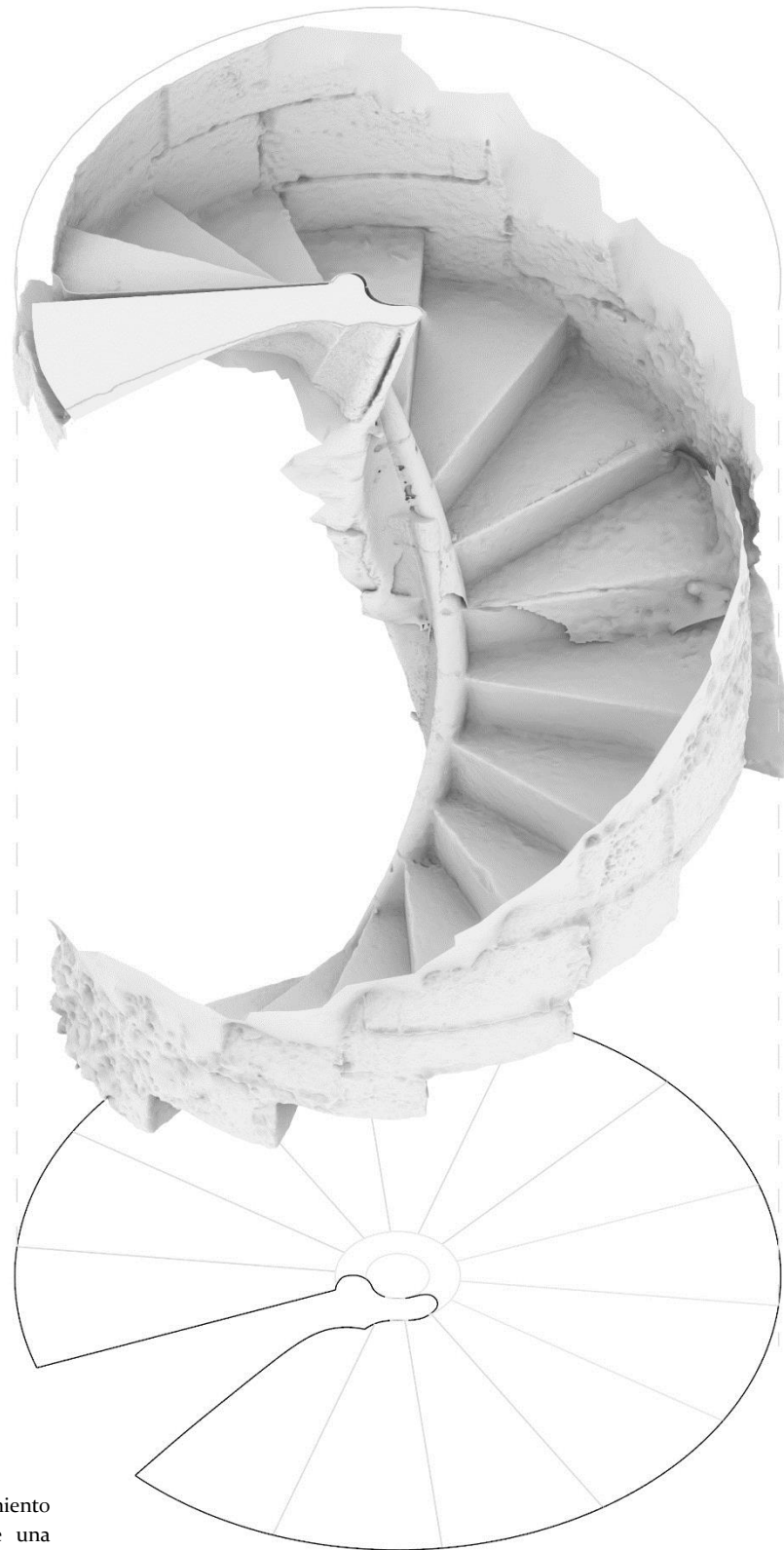


Fig. 3.3 - Levantamiento fotogramétrico de una porción de la escalera de caracol de ojo abierto de la torre del Soto. Elaboración propia.

Los sillares de la torre están formados por rocas areniscas con una mezcla de materiales silíceos y calcáreos. Son similares a las piedras que afloran del lecho rocoso del río Pas, lo que demuestra que la roca es muy superficial en todo el valle de Toranzo. Este hecho propicia el mantenimiento de este tipo de edificaciones tan antiguas en el valle.

Tras consultar con el Dr. Miguel Gómez Heras, geólogo de la Universidad Autónoma de Madrid y experto en patrimonio, parece que el origen de estos sillares puede estar en la cima de una pequeña loma adyacente al santuario. En esta zona elevada, las ortofotos muestran prados con una geometría singular, cuyos quiebros y formas tortuosas pueden ser compatibles con la presencia de una posible cantera. De hecho, en la Hoja 58 del Mapa Geológico Nacional, se muestra la naturaleza caliza de la zona. La existencia de esta cantera es una hipótesis muy plausible pues, al tener una piedra de mucha calidad tan cerca, los canteros no iban a buscar y trasladar tanta cantidad de piedra de otros lugares.

A lo largo del desarrollo del cilindro que alberga la escalera, las piedras presentan distintas marcas que corresponden a los rastros que dejaban los canteros de las obras para asignarse las piedras trabajadas. Entre estas marcas se ven espas, triángulos etc. que se pueden ver también en la Catedral de Santander o Santillana del Mar.



Fig. 3.4 - Fotos y dibujos de los símbolos de los canteros en el desarrollo del cilindro de las escaleras.

Elaboración propia

## El cuerpo base

Como sustentación de la torre se encuentra el cuerpo de la base, un volumen macizo que se levanta a los pies del monte Pando.

Este cuerpo comprende en su interior las estancias intermedias hasta llegar a la primera terraza. En su traza cuadrada o rectangular se centra el octógono superior, encontrándose con el cilindro de la escalera en su esquina superior derecha.

Se trata de un volumen de casi 9x9 m, por el que se da acceso a la Iglesia de Nuestra Señora del Soto. La entrada se efectúa por una gran bóveda de cañón, a la que se le adosa la posterior construcción del templo (Fig. 3.5).



Fig. 3.5 - Imagen desde la plaza de Nuestra Señora del Soto donde se ve la superposición de cuerpos y la bóveda de cañón de entrada. Elaboración propia.

La bóveda de cañón salva una luz de 4,5 metros y tiene una altura de clave de 6,5 metros, creando un espacio de transición hasta el oscuro recibidor de la iglesia.

El negativo de los espacios, estancias y escalera, dejan en los márgenes y esquinas del este cuerpo base, el macizo que traslada las cargas hasta el suelo. Estructuralmente, este macizo de piedra y relleno se encarga de albergar en su sección, las cargas que le llegan desde arriba. Por esto mismo se produce este contraste de torre muy esbelta con base más ancha y tosca. Son estos márgenes los que funcionan de contrafuertes, dentro de la estructura de la torre.

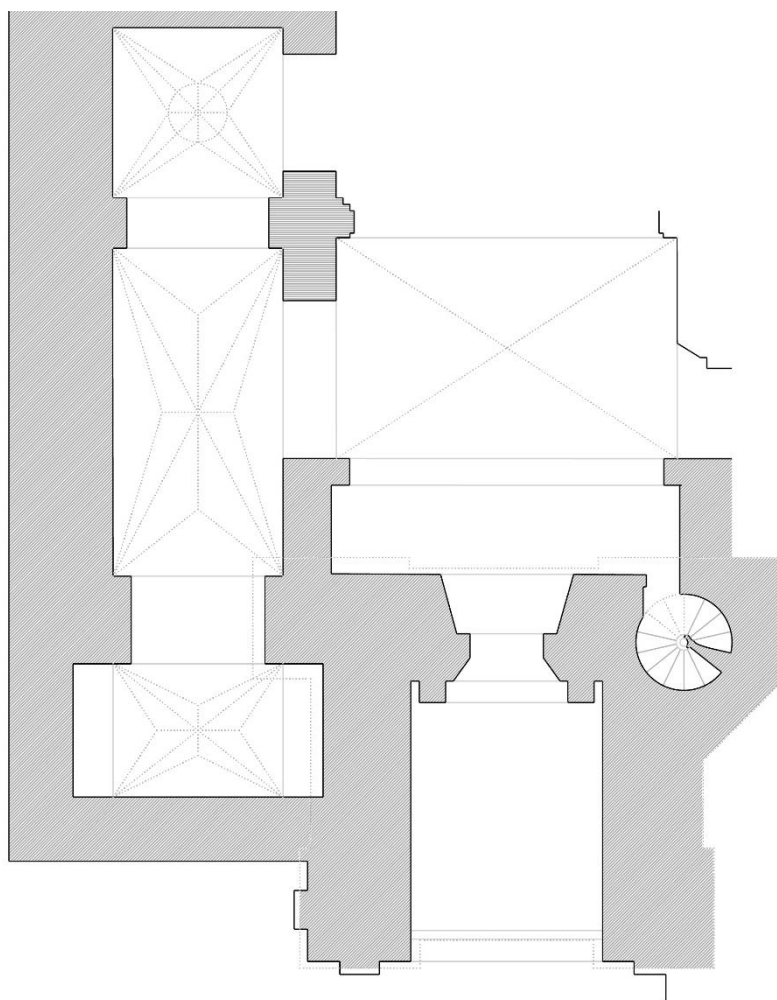


Fig. 3.6 - Planta de la parte baja de la torre donde se observa la bóveda de cañón seccionada y su relación con la escalera, así como con las naves de la iglesia

Elaboración propia.



Fig. 3-7 - Levantamiento fotogramétrico de la entrada de bóveda de cañón seccionada, parte baja de la torre.

Elaboración propia.

Gracias a estos dos macizos de unos 2,70 x 9 m y a la calidad de cimientos sobre el lecho rocoso, la torre ha llegado hasta nuestros días. Son precisamente estos cimientos los que se ven a pie de calle, en la parte posterior de la torre, debido a las transformaciones de la plaza y carretera que llegan hasta ella (Fig. 3.8 y 3.9).



Fig. 3.8 y 3.9 – Imagen del afloramiento de las piedras de cimiento a través del pavimento exterior

Elaboración propia.

## El cuerpo intermedio

Ascendiendo por la escalera, en la H40, es decir a 7,6 metros del suelo, se encuentra la sala intermedia. Esta estancia de 7 x 4,6 metros se cubre mediante dos bóvedas de crucería desiguales, que convergen en un grueso arco de medio punto (Fig. 3.11).

Al llegar a esta sala me sorprendieron las condiciones en las que se encontraba. La sala aparenta estar completamente olvidada. En sus paredes se podía ver un problema de humedades y condensaciones que presumiblemente han sido generadas tras las drásticas intervenciones de los años 50 (Fig. 3.10).



Fig. 3.10 - Imagen del interior de la sala intermedia en la que se pueden observar las humedades y el recrecido de la pared intersectando con los nervios.

Elaboración propia.

Esta estancia había sido claramente modificada, en las paredes perimetrales se podía ver como se habían tapado los finales de los nervios de las bóvedas, por medio de nuevos paños, quedando así incompletos. La pared que corresponde a la fachada tiene una ventana circular de piedra. Estos sillares son visiblemente más recientes que el resto. Estas particularidades, unidas a la disparidad de crujías en las bóvedas, aparentemente injustificada, me llevó a dudar de si habían sido construidas en la misma época que la torre o si tenían estas características por otro motivo.

Al no encontrar explicación para la disposición de estas dos crujías desiguales, vuelvo a la poca bibliografía de la que dispongo y en una descripción del libro de Toranzo de González Echegaray se menciona:

“Sobre este primer cuerpo descansa otro, con un arco de medio punto que se ve desde el exterior, hoy día cerrado, pero que al parecer en épocas anteriores estuvo diáfano, y en él se situaba la imagen de la Santísima Virgen”



Resulta, por tanto, que la torre en algún momento no tuvo este paño que hoy en día podemos ver. Se abría hasta esta primera crujía más pequeña, donde se encuentra el arco de medio punto y ahí cerraba. De esta manera se dejaba expuesta a la Virgen, para que se viese desde el exterior, y detrás de ella, quedaba una pequeña capilla sobre la entrada (Fig. 3.14).

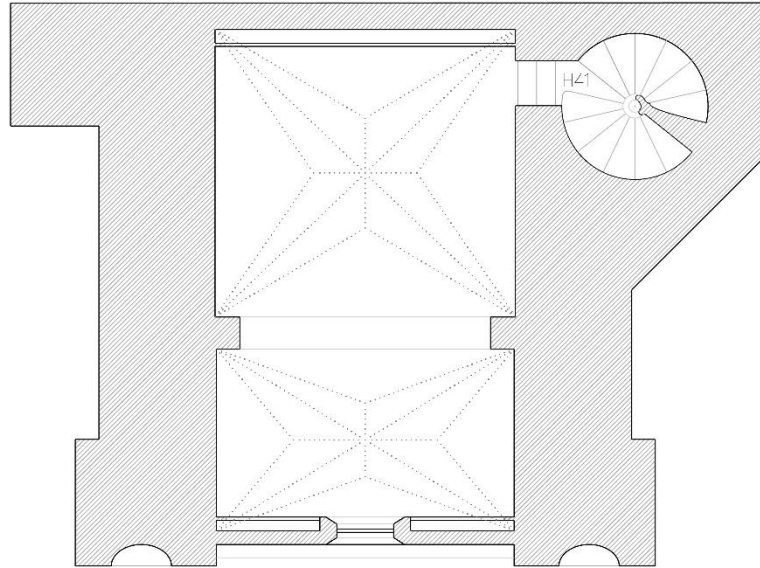


Fig. 3.12 - Planta de la sala intermedia con la proyección de los nervios de ambas bóvedas de crucería y su entrada desde la escalera.

Elaboración propia.

Hoy en día desde el exterior se proyecta un arco de medio punto, perforado por la ventana circular ya comentada, aunque en su interior es un espacio cubierto por estas dos bóvedas que tienen 4,8 y 5 metros de altura en sus claves.

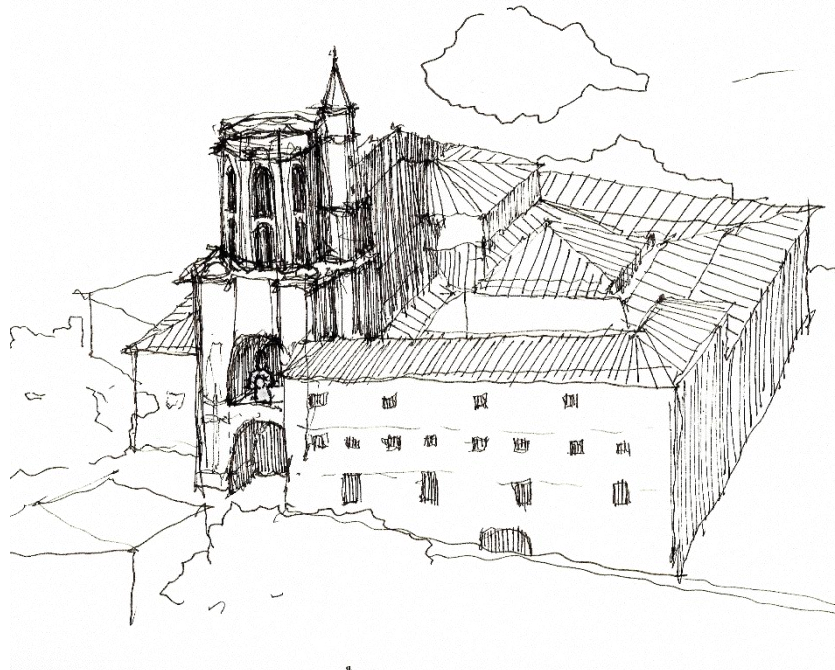
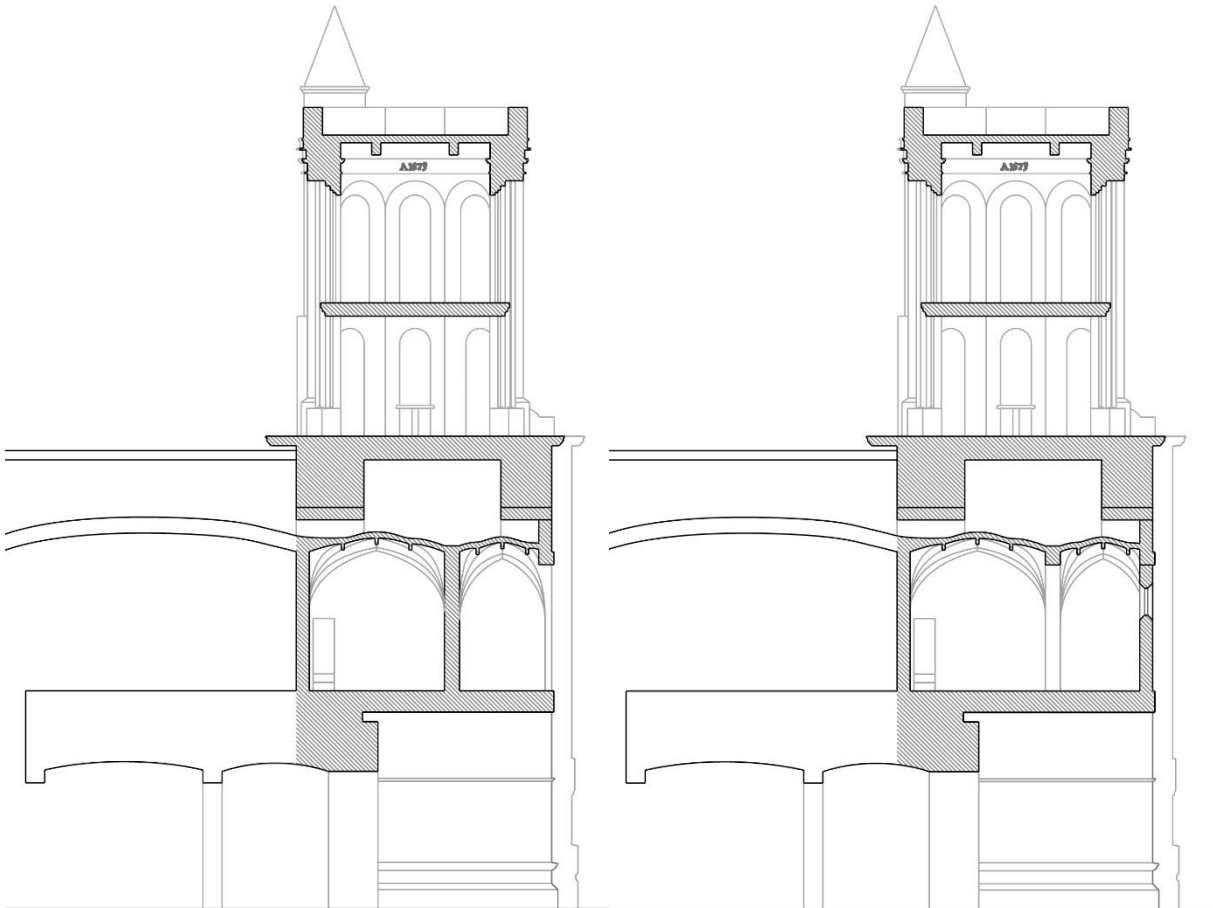


Fig. 3.13 - Dibujo en perspectiva de una interpretación de la posible apariencia de la torre con la virgen expuesta y la fachada abierta.

Elaboración propia.



### Espacio de descarga

Al comenzar el trabajo este espacio para mí no existía. El proceso de medición comenzó por la parte baja, pero cometí el error de, en vez de ir midiendo estancia por estancia de manera ascendente, saltar directamente a la primera terraza y luego bajar a medir a la sala intermedia.

El funcionamiento de la estructura que me planteé a priori, perdió sentido al entrar en la sala intermedia (Fig. 4.1). El problema era que la geometría octogonal de la torre caía en los nervios de las bóvedas de crucería de la sala (Fig. 3.15).

Esta situación carecía de sentido, como se explicará más adelante, en el apartado de estructura, de manera que tenía que existir otra manera de trasladar las cargas del octógono superior a los macizos.

Desde el exterior, se puede apreciar que, entre la clave del arco de la sala intermedia, hasta la primera terraza, existe un espacio de casi 3 metros al que yo no había encontrado el acceso desde la escalera (Fig.3.5). Esto llevaba a pensar que ahí tendría que estar la clave de la estructura. Tenía que haber por tanto, un acceso, probablemente por el crucero de la nave, que llevara a este lugar.

Fig. 3.14 – Secciones de la torre con la fachada abierta original (a la izquierda) y cómo es en la actualidad, cegada con un óculo (a la derecha). Se representa también la superposición de espacios de la torre, incluyendo el espacio de descarga.

Elaboración propia.

Efectivamente, existe un espacio sobre la sala intermedia y bajo la terraza que alberga dos grandes arcos de descarga.

Sobre la iglesia, en la H66 se encuentra el acceso al espacio de mantenimiento de las bóvedas de la iglesia. Desde aquí se ven las bóvedas de la iglesia y entrando a la izquierda el espacio de descarga, descubrimiento de este trabajo.

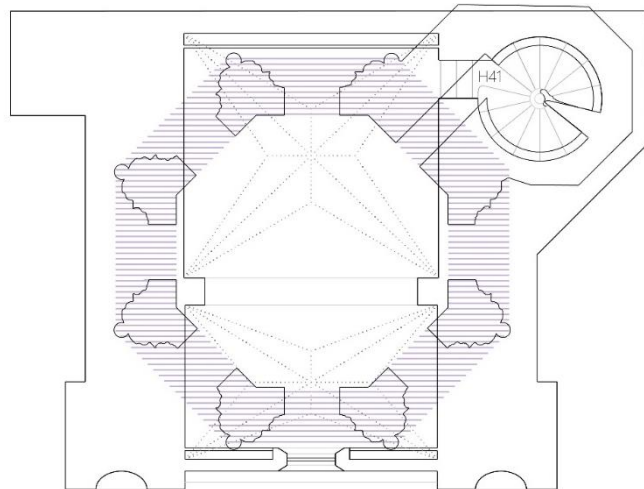


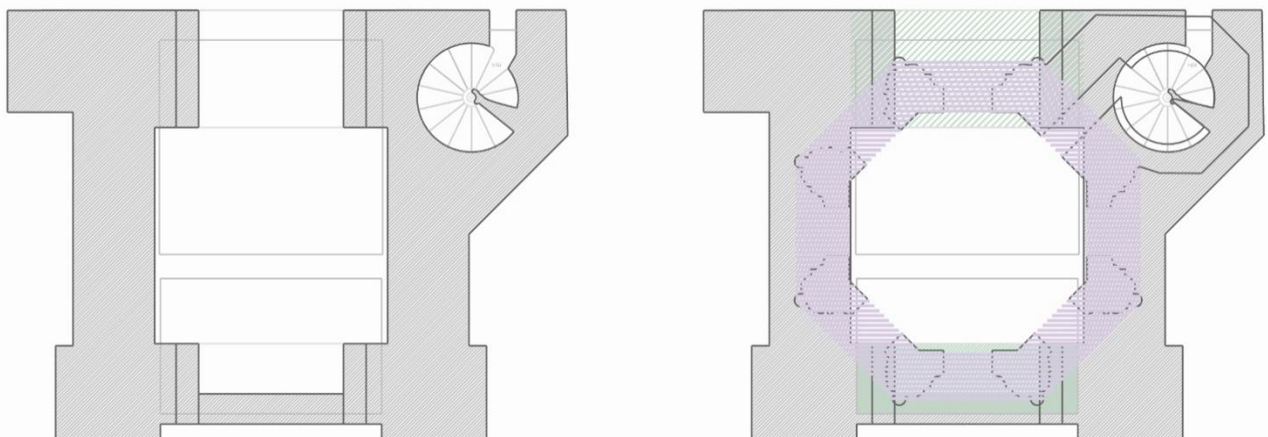
Fig. 3.15 - Esquema en planta de la proyección del octógono sobre la sala intermedia de bóvedas de crucería.

Elaboración propia.

Fig. 3.16 - Planta del espacio de descarga (izquierda) y esquema de proyección del octógono (color morado) y los arcos de descarga (verde) donde se observa que los arcos salvan los apoyos de la torre (derecha).

Elaboración propia.

El acceso a esta parte superior se da por una sección de arco de fábrica que se estrangula por las bóvedas de Juan de Naveda. Se aprecia perfectamente como la iglesia es un añadido posterior al haber obstruido la entrada a este espacio (Fig 3.21, 3.22, 3.23). La accesibilidad a éste es crucial para el mantenimiento de la estructura, al ser necesario limpiar y despejar de vez en cuando la superficie, además de ser el lugar donde puede haber control de los problemas de humedades.



Una vez pasado el estrecho hueco entre el intradós del arco y la bóveda, se abre en altura la estancia de aproximadamente 3 metros. Cualquier persona que entre aquí se encuentra encima de las bóvedas de crucería de la sala intermedia y bajo la primera terraza (Fig 3.17).

Tanto en la entrada del espacio como en la fachada exterior, se encuentran unos arcos de 40 cm de espesor que transmiten toda la carga que cae desde la parte superior de la torre a los macizos del cuerpo de la base. Estos arcos abarcan las pilastras de la geometría octogonal de la torre en su luz, evitando que caigan de esta manera en las bóvedas de crucería de la sala intermedia, aguantando estas solamente su propio peso (Fig. 3.16).

Dentro del espacio de descarga encontramos una ingeniosa solución a la necesidad de apoyo de los medios lados del octógono por medio de trompas. Es un patrón de estructura clásico en la transición de la geometría cuadrada a la octogonal (Fig. 3.18).

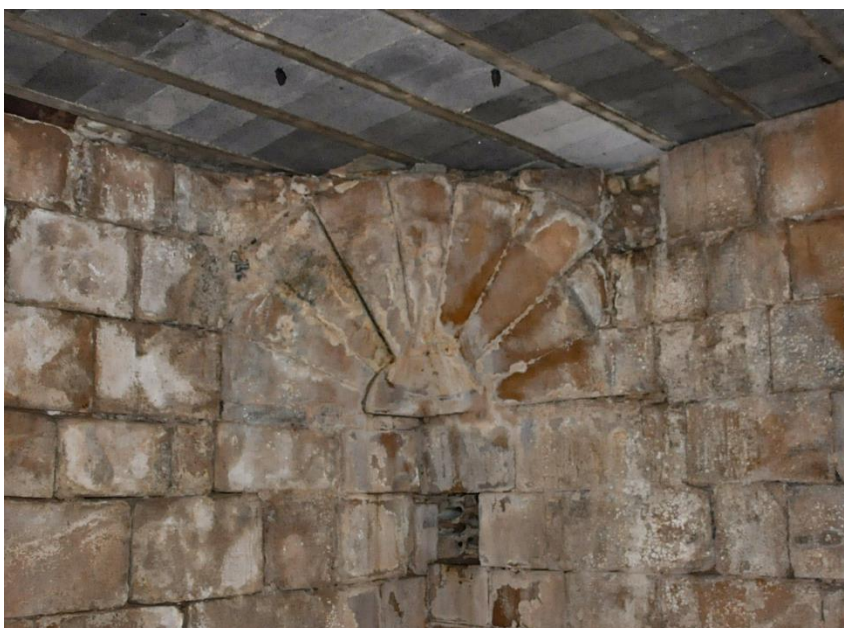


Fig. 3.17 - Imagen de mi hermano Manuel cruzando por el estrecho hueco que deja el arco de descarga y las bóvedas de la iglesia

Elaboración propia.

Fig. 3.18 - Imagen desde el espacio de descarga en el que se ven las trompas de transición y el forjado de hormigón moderno

Elaboración propia.

Como se ha comentado anteriormente, estimo que sobre los años 50 se realiza una serie de intervenciones debido a la destrucción causada probablemente por un rayo.



Fig. 3.19 - Interior del espacio de descarga tras atravesar los arcos. Imagen donde se pueden ver las capas de rasilla sobre las bóvedas originales de crucería de la sala intermedia.

Elaboración propia.

Estas intervenciones se pueden apreciar desde varios lugares de la torre. Uno de ellos es este mismo espacio de descarga. Lo que en algún momento pudo ser un forjado de madera, hoy en día es un forjado de viguetas y bovedillas de hormigón que cubre todo el lugar. Viendo este forjado de hormigón, junto con la cubrición de las bóvedas con rasillas (Fig. 3.18 y 3.19), se entiende el estado de deterioro por humedad de la sala intermedia que se encuentra justo debajo, al ser un material tan sellante que no deja transpirar a la bóveda.

Dentro del espacio de las bóvedas de la iglesia, se puede apreciar, bajo el tejado actual, una cornisa de la torre (Fig. 3.20). Ya se sabe que la iglesia es posterior a la torre, pero no se describe en ningún lugar cómo era el anterior templo. Esta evidencia de la cornisa nos demuestra que la torre estuvo en algún momento o exenta, o con un templo mucho menor, que dejaría a la torre más expuesta de lo que está en la actualidad.



Fig. 3.20 – Interior del espacio de bóvedas de la iglesia. La cercha metálica de la cubierta deja entrever la cornisa de la torre que queda oculta bajo el tejado.

Elaboración propia.



Fig. 3.21 - Espacio de bóvedas de la iglesia donde se aprecia el estrecho acceso a la entrada al espacio de descarga.  
Elaboración propia.



Fig. 3.22 - Imagen en la que aparezco intentando ver al otro lado del arco  
Elaboración propia.



Fig. 3.23 - Detalle del arco de descarga posterior desde la sala de bóvedas.  
Elaboración propia.

## El cuerpo campanario

Alzándose sobre las cornisas del valle de Toranzo, se puede ver la parte superior de la torre de Santuario de Nuestra Señora del Soto. Este cuerpo se compone, hoy en día, de dos terrazas que ofrecen una vista panorámica del imponente valle. El acceso a ambas se produce por la escalera, en la H83 y en la H97. El alzado de la torre se caracteriza por sus rasgados y esbeltos arcos en cada lado del octógono, que ofrecen esa imagen tan calada y especial de la construcción. Los remates de estos arcos suben de la primera a la segunda terraza otorgándole unidad visual en vertical (Fig. 3.26 y 3.30). La sección de las pilastras es una bella y compleja composición geométrica. En sus bases, tienen una sección más simple que a 1 metro del suelo se interseca con la sección más ornamental como la que se muestra en la figura 3.25.

Fig. 3.24 - Dibujo de la torre desde el monte de Aes.

Elaboración propia.



Fig. 3.25 - Libreta de mediciones de la primera terraza y levantamiento de la sección de la pilastra.

Elaboración propia. >



La primera terraza, elevada a aproximadamente 16 metros del suelo, es un espacio salón desde el que se tiene acceso a la cornisa cuadrada donde se puede observar el claustro del convento, el valle y el Monte del Castillo. (Fig. 3.27). El octógono interior tiene 2 m de lado y los arcos 50 cm. Este octógono se inscribe en la planta del cuerpo de la base, siendo éste un cuadrado en el que en su vértice se encuentra la escalera, quebrándose e incluyendo en su planta el cilindro ascendente.



Fig. 3.26 - Levantamiento fotogramétrico parcial de las pilastras de la primera a la segunda terraza, que conforman la torre.

Elaboración propia.

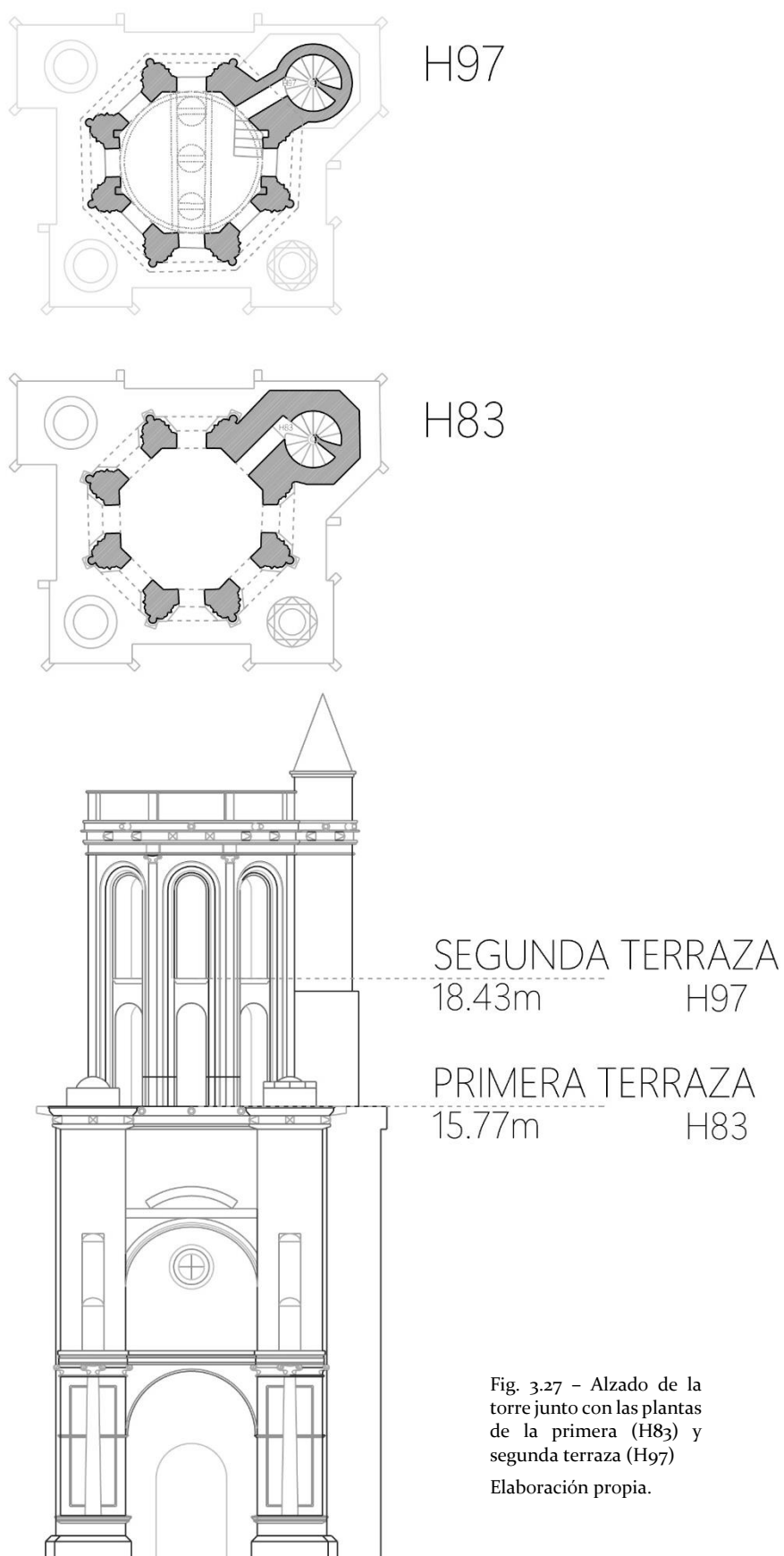


Fig. 3.27 - Alzado de la torre junto con las plantas de la primera (H83) y segunda terraza (H97)  
Elaboración propia.

Las terrazas también son objeto de las intervenciones de los años 50 (Fig. 3.28). Los forjados que separan las terrazas son de hormigón (Fig. 3.18). Debido al desfase de alturas que supuso la instalación de estos nuevos forjados, queda saliente del mismo, la escalera superior que da acceso a la segunda terraza.

Fig. 3.28 – Imagen desde la primera terraza en la que se puede ver tanto el forjado de hormigón como el pináculo al fondo.

Elaboración propia.



Cabe destacar la existencia de unos grandes pináculos que se colocan en las esquinas de la terraza. Estos sirven como pesos añadidos, que verticalizan los empujes de la sección de la torre. Compositivamente la planta se remata en cada esquina con un cuerpo cilíndrico, en 3 de ellas, hay pináculos, y en la restante, el cuerpo de la escalera, también cilíndrico (Fig. 3.27).

Fig. 3.29 – Imagen de uno de los pináculos que rematan las esquinas de la primera terraza.

Elaboración propia.



Acendiendo hasta la H97 se encuentra otro tramo de escaleras, éstas rectas y de hormigón, que llevan a la segunda terraza. En esta se encuentran las campanas, de los años 50. Estas campanas se empotran contra el muro de fábrica mediante añadidos de hormigón, presumiblemente, el mismo que el de los forjados. Gracias a la fecha grabada en estas campanas, he podido datar estas intervenciones (Fig 3.35).

La inscripción “1573”, que hace referencia a la finalización de la torre, se encuentra en la cornisa circular que remata el interior de las pilastras, antes de encontrarse con el forjado de hormigón que configura la cubierta plana (Fig 3.33 y 3.34). El remate circular indica la posibilidad de que se proyectara una cúpula o aguja, hipótesis que se desarrollará al final de este trabajo.

Hoy en día la cubierta, como se ha descrito previamente, es plana, tiene acceso dese la escalera y tiene una disposición tipo salón. Desgraciadamente no he tenido acceso a la cubierta, pero he podido ver imágenes panorámicas desde ella, mediante un visor en internet.

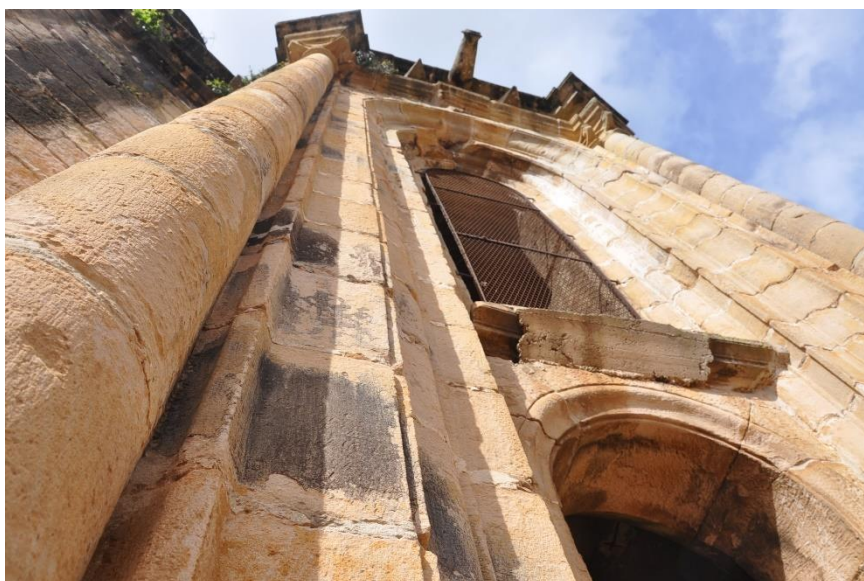


Fig. 3.30 - Imagen de las pilastras desde la primera terraza

Elaboración propia.



Fig. 3.31 - Imagen desde la segunda terraza en la que se ve el claustro del Santuario de Nuestra Señora del Soto

Elaboración propia.



Fig. 3.32 - Imagen de detalle de la intersección entre las pilastras y el cilindro de la escalera.

Elaboración propia.

Fig. 3.33 - Detalle de cornisa circular en la segunda terraza de la torre

Elaboración propia.



Fig. 3.34 - Detalle de la inscripción de finalización de la construcción de la torre en 1573

Elaboración propia.



Fig. 3.35 - Detalle del grabado en las campanas instaladas en los años 50, cuya tipografía imita la inscripción de la cornisa.

Elaboración propia.





#### 4. ESTRUCTURA

##### Hipótesis inicial y primeros acercamientos

Como se ha explicado anteriormente, al comienzo del trabajo, sin haber entrado aun en la torre, tenía una hipótesis inicial del funcionamiento de la estructura. La torre desde el exterior aparece compuesta por dos bóvedas de cañón, una encima de la otra y sobre éstas el cuerpo octogonal. Aparentemente la transmisión de cargas desde el octógono al suelo es conceptualmente simple. Se produciría el traslado del peso de la torre a una primera bóveda de cañón y a su vez desde ésta, a la segunda, llevando de esta manera las cargas a los imponentes macizos laterales (Fig. 4.1).

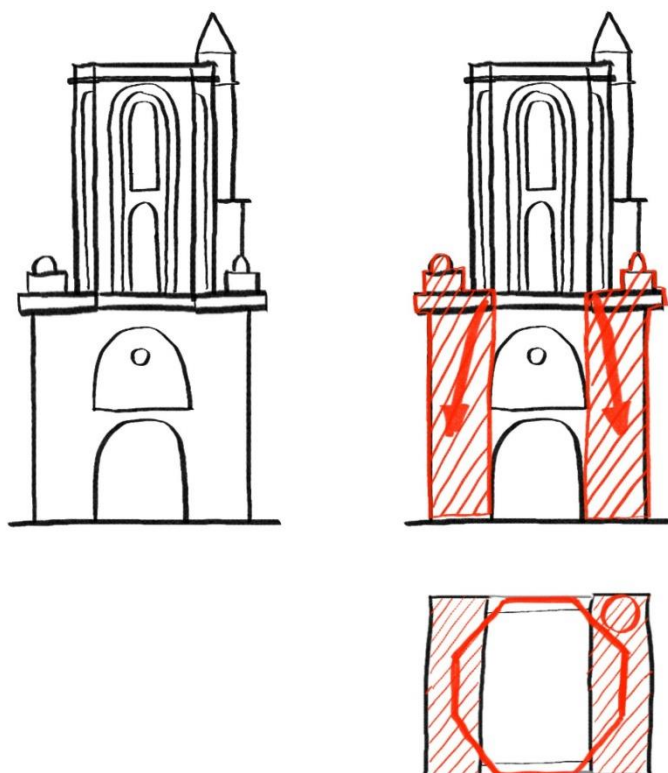


Fig. 4.1 - Esquema de hipótesis inicial de estructura.

Elaboración propia.

En el proceso medición y levantamiento de la torre era crucial el encajar, unas encima de otras, las plantas medidas y analizadas para comprender así la geometría y la estructura de todo el conjunto. El encuadre de las plantas y de los elementos se ha hecho en base a la escalera y la orientación que se ha podido conseguir, en función de los criterios iniciales de medición, descritos en el epígrafe de proceso de levantamiento y medición.

Al partir de la escalera, cualquier cosa y elemento que no quedara evidentemente expuesto no me imaginaba que existiera. Esto mismo fue lo que llevó a la confusión en la concepción de la estructura durante el levantamiento.

Una vez tenía todas las salas medidas, me puse a solapar los dibujos y corregir los fallos que se podrían haber cometido en el proceso de medición. Fue en ese momento cuando me di cuenta de que la huella octogonal de la torre no cuadraba con la sala inferior con las bóvedas de crucería (Fig. 3.15).

Como ya se ha descrito en el apartado de Espacio de descarga, observando desde el exterior me fijó en que entre el arco de la sala intermedia y la primera terraza existe un espacio al que no se tiene acceso desde la escalera y es demasiado grande para ser macizo. Ese espacio resulta ser el de descarga ya comentado, descubrimiento de este trabajo al no haberse encontrado ningún tipo de alusión a su existencia en la bibliografía encontrada.

De no ser por estos arcos que componen el espacio de descarga, la torre tendría que caer con todo su peso sobre unas finas bóvedas de crucería, y no solo sobre ellas, en sus apoyos, si no que caerían en los propios nervios.

No se conserva documentación que fije la fecha de comienzo de la torre ni fases de construcción. Esto mismo y las volumetrías tan diferenciadas en la torre, me llevaron a pensar en la posibilidad de que hubiese sido construida en dos fases, marcadas por un cambio drástico de planes, como podría ser un cambio de maestro. Probablemente, aunque fuese construida en dos fases, la proyección primera del conjunto de la torre incluía un cuerpo, poligonal, que apoyara en el cuerpo cúbico. Si no hubiese sido de esta manera, estos arcos de descarga no existirían pues sirven para llevar a cabo la transición de cuadrado a octógono, y salvar las bóvedas inferiores, que realmente, solo soportan su propio peso.

## **Cálculo de estabilidad**

En contraposición a lo que actualmente nos guía para la proyección y cálculo de estructuras, es decir, los estados límite, Navier en 1826 rechaza este criterio argumentando que esa es la situación no deseada. Insistía en el “requisito medieval” por el cual, mediante unas proporciones geométricas estructurales ya comprobadas y el cálculo de las tensiones, el edificio se mantendría en pie.

La torre del Santuario de Nuestra Señora del Soto se construye a partir de una traza, sistema, muy repetido que se desarrollará más adelante. El hecho de que haya sido tan usado e imitado quiere decir

que sus proporciones y geometría funcionan y hacen que se mantenga en pie.

Es en *El esqueleto de piedra* (Heyman, 1995) donde se expone y ejemplifica el cálculo de las estructuras de fábrica. Para el cálculo de estabilidad de la torre, partimos del marco teórico de Heyman, el Teorema Fundamental de la Seguridad. Éste se basa en tres hipótesis simplificadoras:

- 1 La fábrica no tiene resistencia a tracción.
- 2 Las tensiones son tan bajas que, a efectos prácticos, la fábrica tiene una ilimitada resistencia a la compresión.
- 3 El fallo por deslizamiento es imposible.

Cuando se lleva a cabo el trazado de la línea de empujes en una estructura, se está definiendo una de las infinitas posibilidades de comportamiento de la estructura. Esta línea de empujes debe quedarse en el interior de la sección de lo que se está calculando. Evidentemente, esta línea es matemática y el espesor del elemento debe de cumplir con un estándar de seguridad. Este coeficiente de seguridad es el que asume los errores de la construcción y labra de los elementos, así como sobrecargas y asentamientos de la estructura. El coeficiente de seguridad que se asume en estructuras medianamente complejas es de 2,5 y 3, requisito que se tendrá en cuenta en este cálculo.

El Teorema de la Seguridad afirma que <<si se puede hallar una posición cualquiera para una línea de empujes en esta situación, esto es una prueba absoluta de que la estructura es estable y ciertamente el colapso no puede producirse nunca bajo la carga dada>>, es decir, si se encuentra una línea de empujes, esta estructura será como mínimo así de segura.

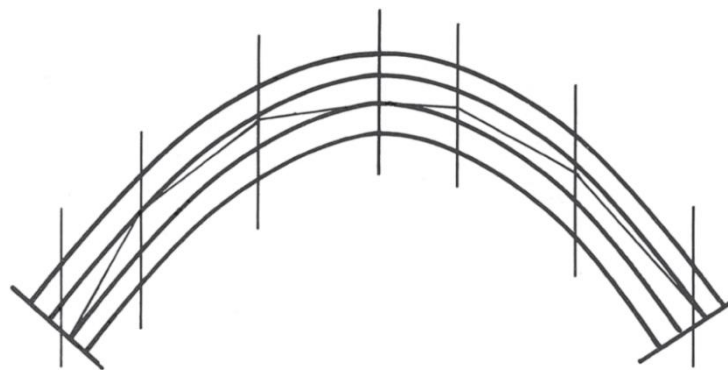


Fig. 4.2 - Línea de empujes en arco con la teoría del tercio central. HEYMAN, *El arco de fábrica*, 1982, 2021

Se comienza el cálculo de la estructura elaborando una serie de condiciones e hipótesis simplificadoras que definirán el problema a resolver. La primera simplificación es considerar que el cuerpo octogonal es un cuerpo monolítico que cae sobre la base, y es ésta sección la que se debe comprobar. El octógono se compone de las 8 pilastras, los 2 forjados y una cornisa octogonal, son estas las partes

que se considerarán para el cálculo (Fig. 4.3). Se impone que, debido al apoyo del octógono respecto de la base, las cuatro pilastras de los lados apoyan directamente sobre ambos macizos. Son entonces las 4 pilastras, dos superiores y dos inferiores las que apoyan en el arco de descarga como se explicó en la figura 3.16.

De esta manera se desarrolla el cálculo asumiendo que al arco de descarga de la fachada le llega, además de su propio peso, el peso de dos pilastras,  $\frac{1}{4}$  de cada forjado y  $\frac{1}{4}$  de cornisa. Esta hipótesis es muy desfavorable pues se está suponiendo que la carga le llega directamente al arco, sin que se desarrollen y formen arcos de descarga en el propio muro que llega a dicho arco. Para los siguientes cálculos se han utilizado las unidades de m y kN, y los pesos específicos de los materiales, 25 kN/m<sup>3</sup> para el hormigón de los forjados y 24 kN/m<sup>3</sup> para la fábrica.

Peso forjado:

Superficie = 30.6 m<sup>2</sup>

$e = 0.45$  m

$\lambda = 25$  kN/m<sup>3</sup>

P forjado = 344.25 kN

P  $\frac{1}{4}$  forjado = 86.06 kN

Peso pilastras:

Superficie = 1.35 m<sup>2</sup>

$h = 9$  m

$\lambda = 24$  kN/m<sup>3</sup>

P pilastra = 291.6 kN

P 2 pilastras = 583.2 kN

Peso cornisa:

Superficie = 5.9 m<sup>2</sup>

$h = 1$  m

$\lambda = 24$  kN/m<sup>3</sup>

P cornisa = 141.6 kN

P  $\frac{1}{4}$  cornisa = 35.4 kN

Peso propio del arco:

Superficie = 1.9 m<sup>2</sup>

$e = 1.44$  m

$\lambda = 24$  kN/m<sup>3</sup>

P arco = 65.77 kN

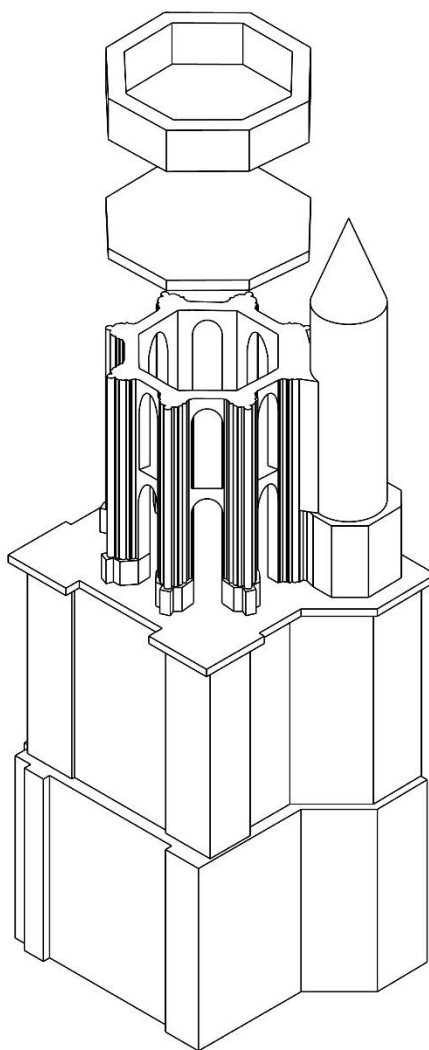


Fig. 4.3 - Axonométrica explotada de los elementos que influyen en el cálculo  
Elaboración propia.

Peso total =  $(86.06 \times 2) + 583.2 + 35.4 + 65.77 = 856.5 \text{ kN}$

Carga repartida en una luz de 4.84 m = 176.96 kN/m

De esta manera se aplica una carga repartida de 177 kN/m en toda la luz del arco.

Para calcular la línea de empujes del arco, se divide en 12 dovelas y se hayan sus centros de gravedad. A cada dovela le llegará 1/12 de la carga, es decir, 71.4 kN (Fig. 4.4).

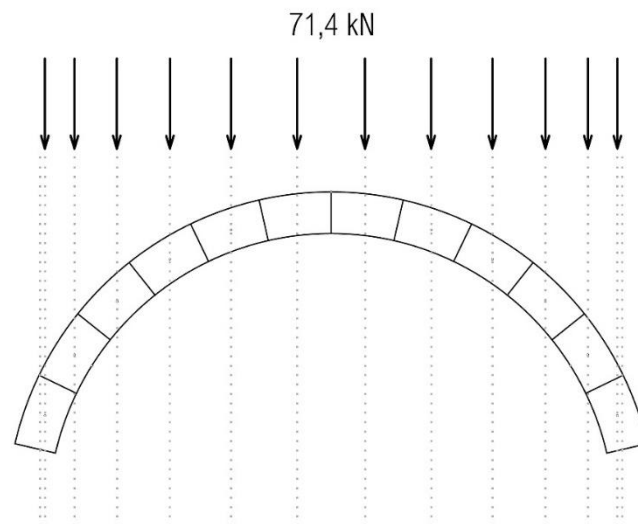


Fig. 4.4 - Esquema de las acciones que afectan a cada dovela del arco de descarga según la hipótesis planteada

Elaboración propia

Para el trazado de la línea de empujes definitiva, se deben de hacer 3 hasta cuadrar con los puntos por donde se quiera que pase esta línea de empujes. En este caso se va a realizar el cálculo del empuje mínimo, el cual implica que se formen rótulas en la clave del extradós, y dos rótulas más a cada lado del intradós.

Se realizan las dos primeras líneas de empujes. La primera línea de empujes parte del punto impuesto y con la segunda conseguimos que llegue al punto simétrico (Fig 4.5). Con la tercera línea imponemos que deba pasar por la clave con la siguiente relación geométrica (Fig 4.6):

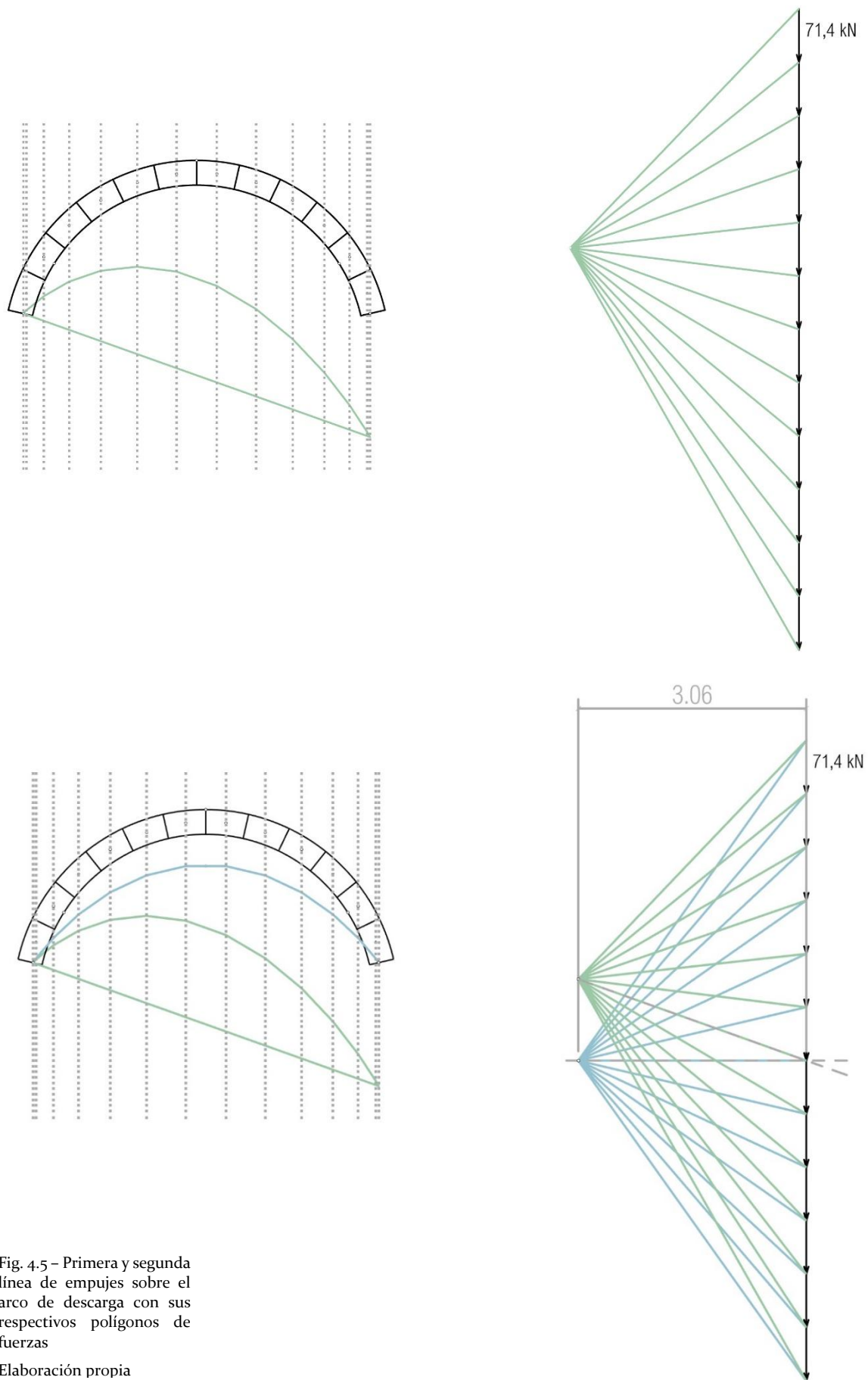


Fig. 4.5 - Primera y segunda línea de empujes sobre el arco de descarga con sus respectivos polígonos de fuerzas

Elaboración propia

$$H \cdot y = H' \cdot y'$$

$$y = 2.05$$

$$y' = 1.29$$

$$H' = 306$$

$$H \cdot 2.05 = 306 \cdot 1.29$$

$$H = 193 \text{ kN}$$

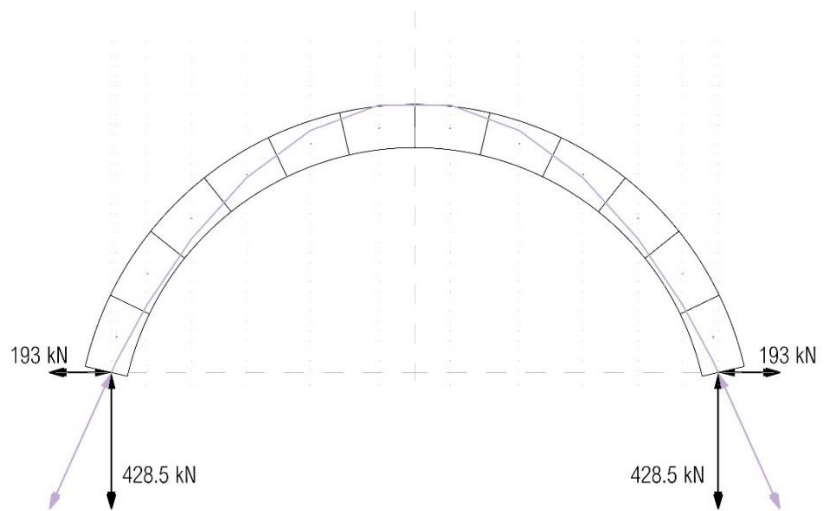
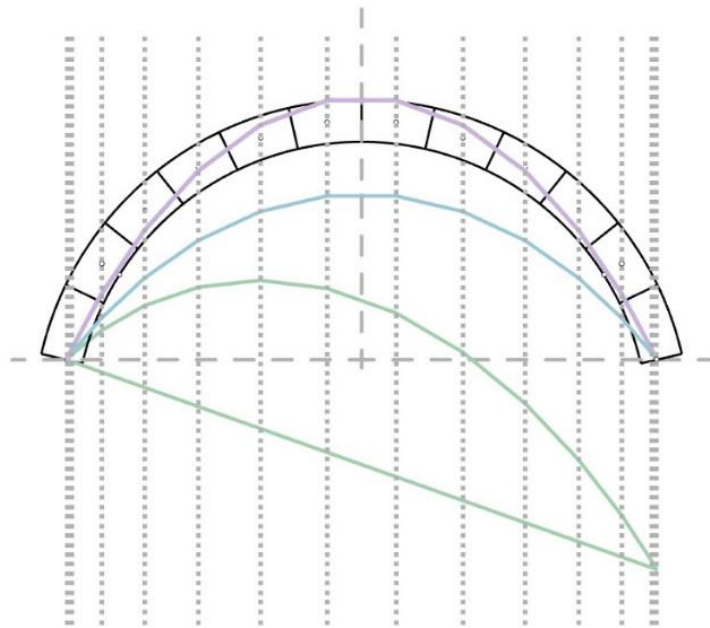
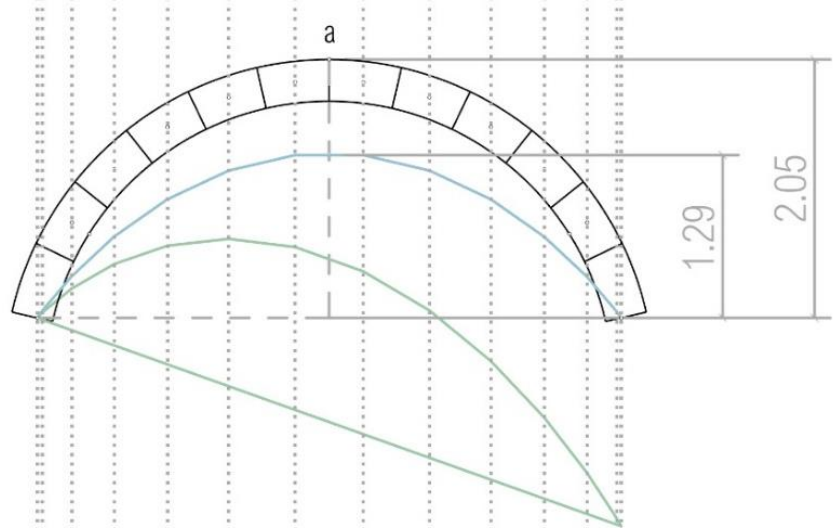
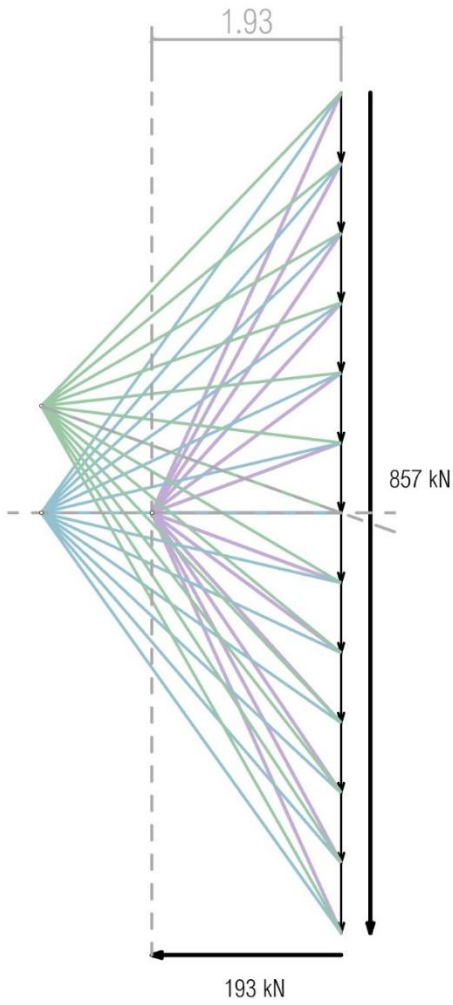


Fig. 4.6 - Relación entre la altura y el empuje del arco, trazado de la tercera y definitiva línea de empuje sobre el arco de descarga y reacciones en los apoyos de dicho arco a partir de la hipótesis planteada

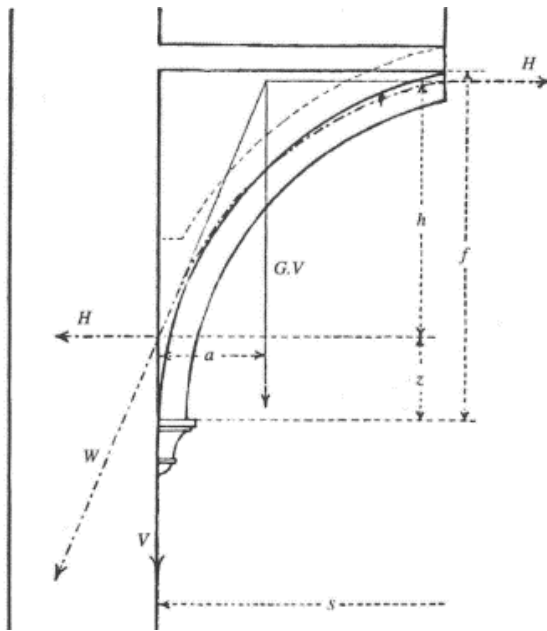
Elaboración propia

De esta manera deducimos que el empuje que produce el arco de descarga sobre el macizo es de 193 kN. Este empuje como ya se ha explicado, es el resultante de la hipótesis desfavorable de que al arco le llega  $\frac{1}{4}$  del peso de la torre de manera directa (Fig. 4.6).

Para realizar el cálculo de estabilidad del macizo, también se deben de contabilizar y calcular los empujes de las bóvedas de la sala intermedia, y de la bóveda de cañón.

La bóveda de la sala intermedia que se va a tener en cuenta en este cálculo es la estrecha, ya que es la que apoya directamente en la fachada y corresponde con la sección que se está calculando. Esta bóveda de crucería salva en planta una geometría rectangular de 2.8 x 4,55 metros.

La estimación del peso de las bóvedas de crucería se realiza basándose en el parámetro que relaciona la altura con la luz de la bóveda. Esta altura es la estricta de la bóveda, es decir, la altura de arranque de los nervios, a clave. En nuestra bóveda la clave se encuentra a 5 metros del suelo y el arranque de los nervios a 2,05 metros, por lo tanto, la altura  $f$ , estricta, es de 2,95 metros. De esta manera la proporción es de 2,95/4,55, aproximándolo a 2:3 según la siguiente tabla de Ungewitter (Fig. 4.7):



| Altura / luz $f/s$                   | 1:8   |          | 1:3       |         | 1:2       |         | 2:3       |         | 5:6 a 1:1 |         |
|--------------------------------------|-------|----------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
|                                      | $V_o$ | $H_o$    | $V_o$     | $H_o$   | $V_o$     | $H_o$   | $V_o$     | $H_o$   | $V_o$     | $H_o$   |
| a. $\frac{1}{2}$ ladrillo ligero     | 2.0   | 3.6-4.0  | 2.3       | 1.6-1.8 | 2.6       | 1.1-1.2 | 2.9       | 0.9-1.0 | 3.4       | 0.8-0.9 |
| b. $\frac{1}{2}$ ladrillo resistente | 2.7   | 5.0-5.5  | 3.1       | 2.2-2.4 | 3.5       | 1.4-1.6 | 3.8       | 1.1-1.3 | 4.5       | 1.0-1.1 |
| c. $\frac{3}{4}$ ladrillo resistente | 3.7   | 7.0-7.5  | 4.2       | 3.0-3.3 | 4.8       | 1.9-2.2 | 5.3       | 1.6-1.8 | 6.5       | 1.5-1.6 |
| d. 200 mm arenisca                   | 5.0   | 9.5-10.0 | 5.7       | 4.2-4.5 | 7.0       | 2.8-3.2 | 7.5       | 2.2-2.5 | 9.0       | 2.1-2.3 |
| e. 300 mm mampostería                | 8.5   | 16-17    | 10.0      | 7.1-7.5 | 12.0      | 4.8-5.5 | 13.0      | 4.0-4.3 | 15.0      | 3.5-3.7 |
| Brazo de palanca $h/f$               | 0.90  |          | 0.85-0.75 |         | 0.80-0.70 |         | 0.80-0.72 |         | 0.80-0.75 |         |

Fig. 4.7 - Tabla de empujes en bóvedas Ungewitter 1901. HEYMAN, El esqueleto de fábrica, 1999

Tomando los datos de la tabla para 200 mm arena:ca:

$$H_0 = 2,2...2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$V_0 = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

Al ser la arena:ca un material de un peso específico de  $20 \text{ kN/m}^3$  y nuestra caliza es de  $24 \text{ kN/m}^3$ , interpolamos para obtener unos datos más ajustados, resultando:

$$H_0 = 2,64 \dots 3 \text{ kN/m}^2$$

$$V_0 = 9 \text{ kN/m}^2$$

Calculando las fuerzas:

$$V = \frac{1}{2} (4,55 \times 2,8) \times 9 = 57,33 \text{ kN}$$

$$H = \frac{1}{2} (4,55 \times 2,8) \times 2,64 = 16,8 \text{ kN}$$

Aplicado a una altura de 2,8 metros desde el suelo.

Por último, calculamos el empuje de la bóveda de cañón de entrada. Simplificamos el cálculo imponiendo que ésta solo soporte su propio peso, y calculamos su línea de empujes de la misma manera que con el arco de descarga (Fig. 4.9 y 4.10). En este caso dividimos el arco en 14 dovelas, a las cuales, tras haber calculado el peso del arco, les cae a cada una  $81,75 \text{ kN}$  (Fig. 4.8).

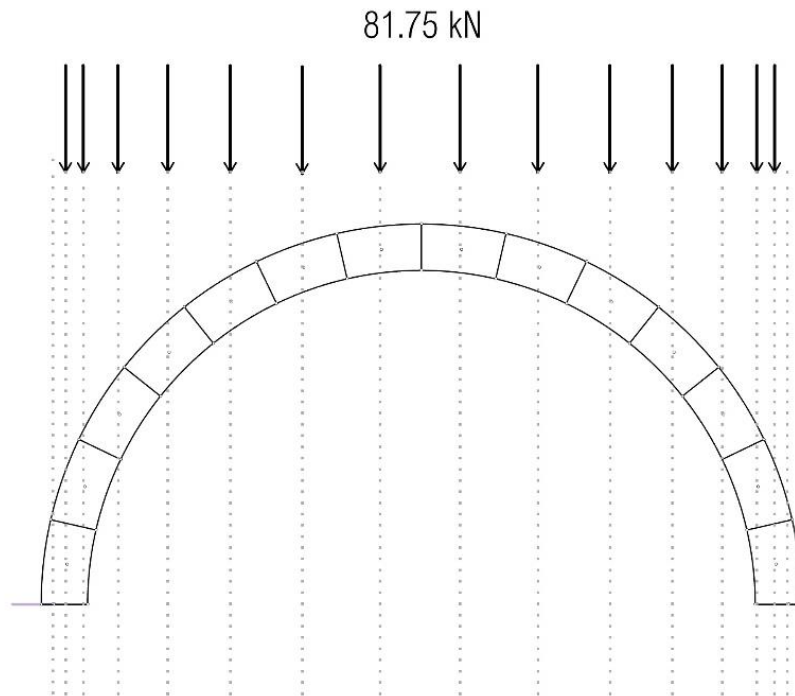


Fig. 4.8 - Esquema de las acciones que afectan a cada dovela de la bóveda de cañón según la hipótesis planteada

Elaboración propia

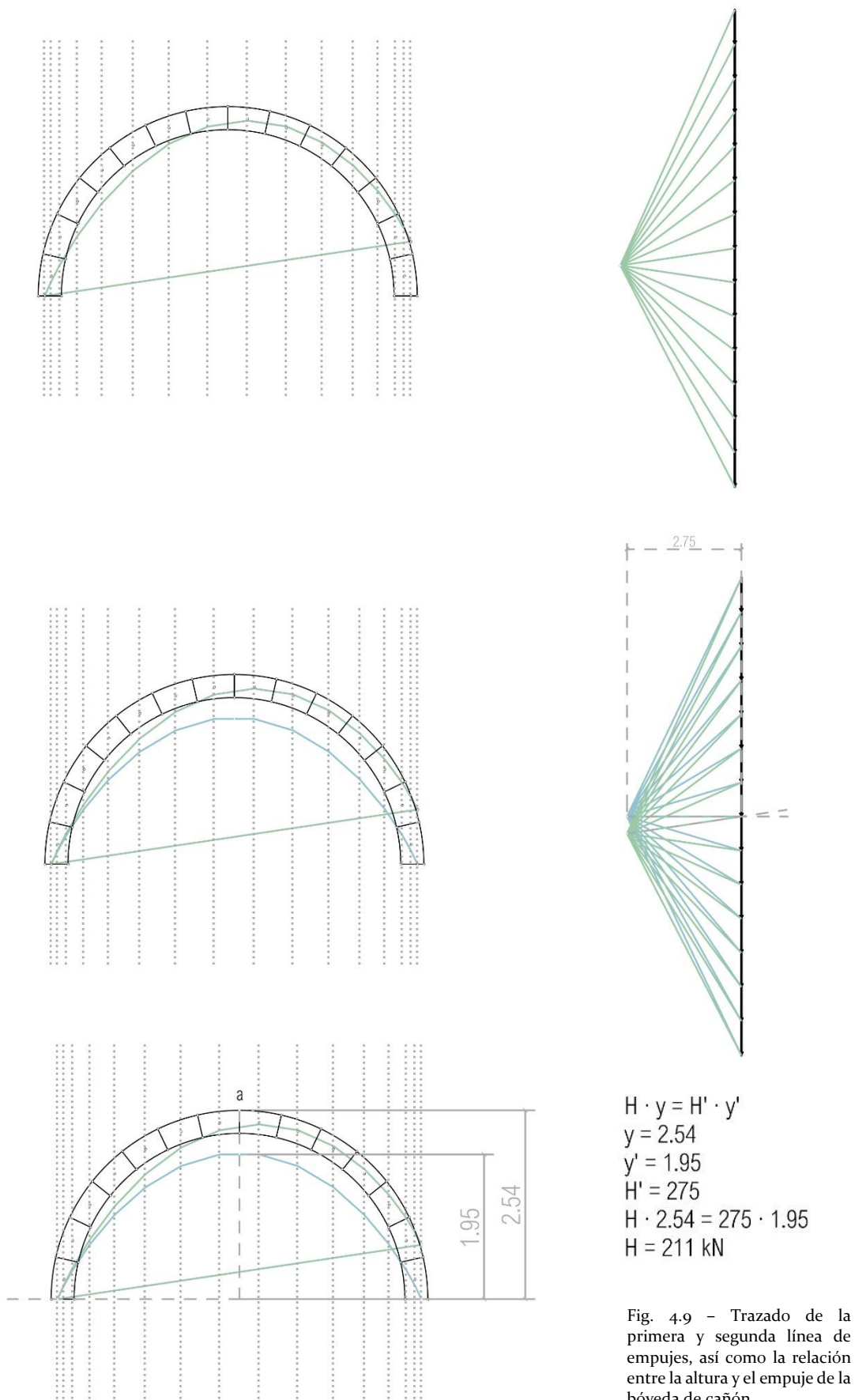


Fig. 4.9 - Trazado de la primera y segunda línea de empujes, así como la relación entre la altura y el empuje de la bóveda de cañón

Elaboración propia

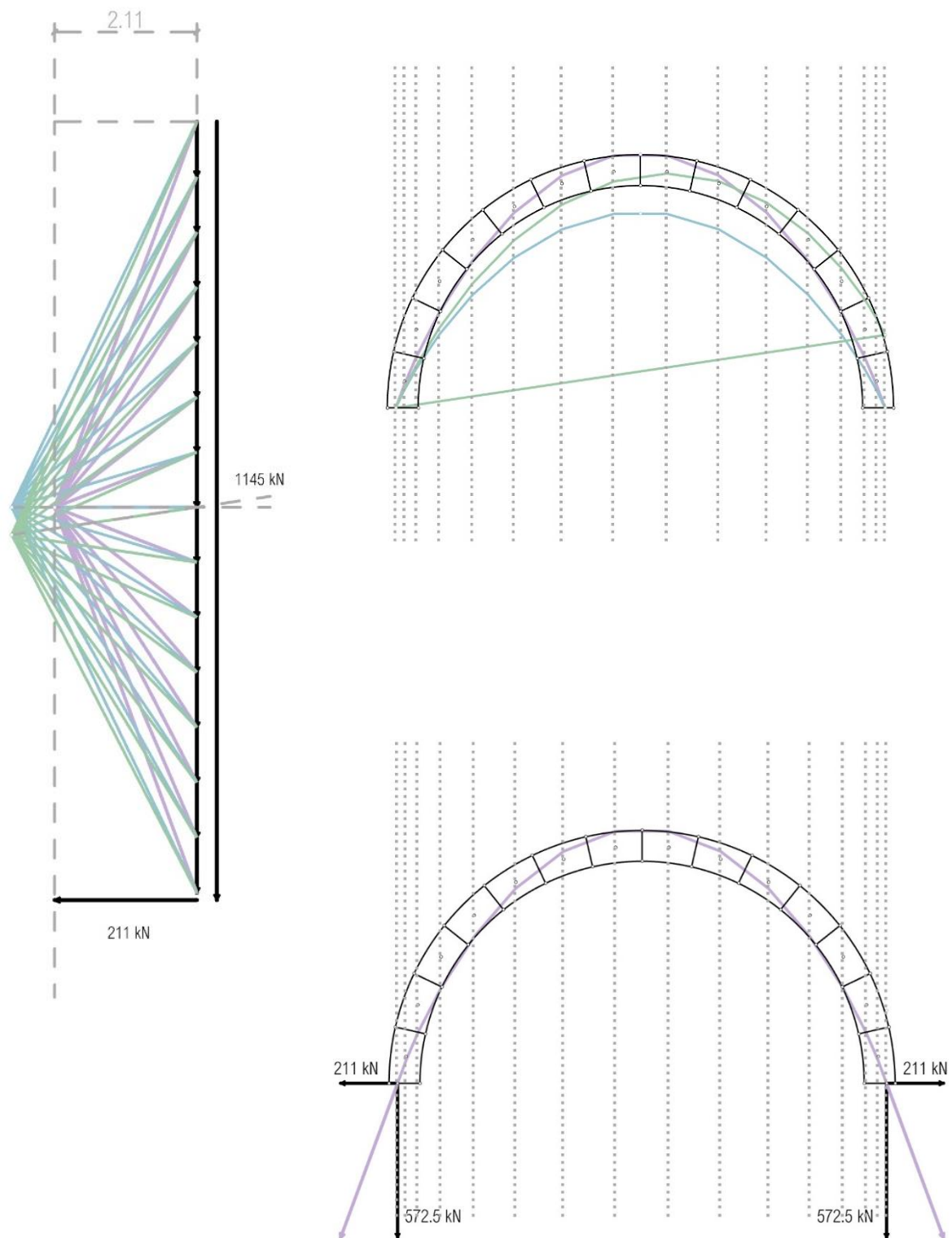


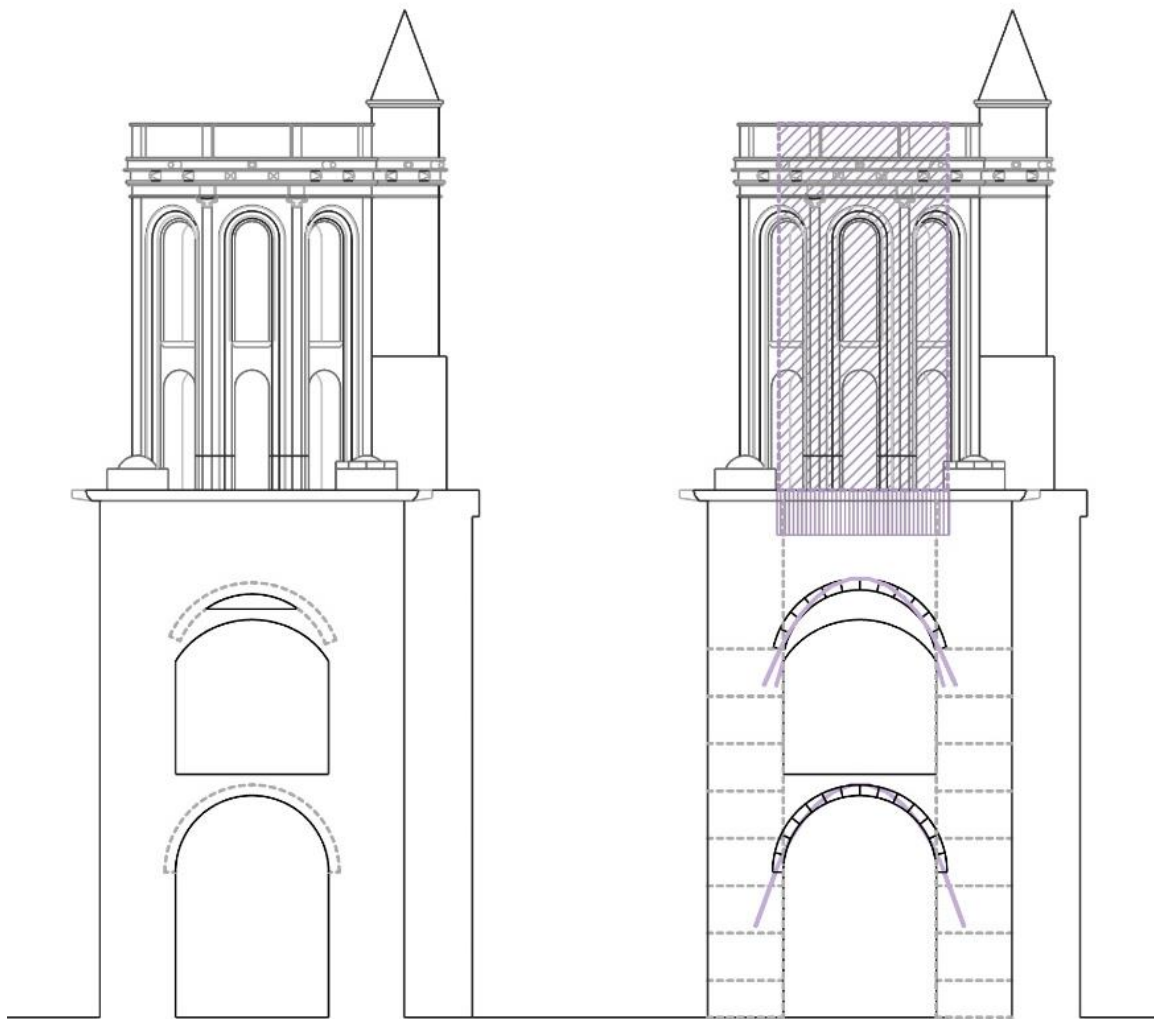
Fig. 4.10 – Trazado de la tercera línea de empujes y esquema de las reacciones en los apoyos de la bóveda de cañón.

Elaboración propia

La bóveda de cañón ejerce sobre el macizo un empuje de 211 kN (Fig. 4.10).

Recapitulando, al macizo le llega el empuje de los arcos de descarga, el empuje de la bóveda de crucería de la sala intermedia y el empuje de la bóveda de cañón de la entrada a la iglesia (Fig. 4.11).

La estabilidad del macizo se calcula a partir de una nueva simplificación que va de lado de la seguridad. Contabilizamos para la estabilidad las cargas de la torre y del macizo, siendo  $\frac{1}{4}$  de la torre y la mitad de la totalidad del macizo, sin contar con sobrecargas permanentes como los pináculos que aumentarían la carga vertical en casi 60 kN.



El área del macizo que repercute a la sección que se está calculando tiene una superficie de 4.81 x 4,12 metros y una altura en total de 15,35 metros. Para el cálculo se divide el macizo en secciones por debajo del arco de descarga. Estas secciones tienen un peso de 656,35 kN siendo 8 secciones. Por encima del arco, el peso del macizo es de 2052,86 kN que junto con el peso de la torre que le toca, queda 2448,2 kN (Fig. 4.12).

Fig. 4.11 - Esquema en sección de la hipótesis y las líneas de empuje de cada elemento calculado.

Elaboración propia

La resultante del macizo cae a 35 centímetros del centro de macizo, cumpliendo la regla del tercio central y teniendo un coeficiente de seguridad de 3,14 (Fig. 4.13).

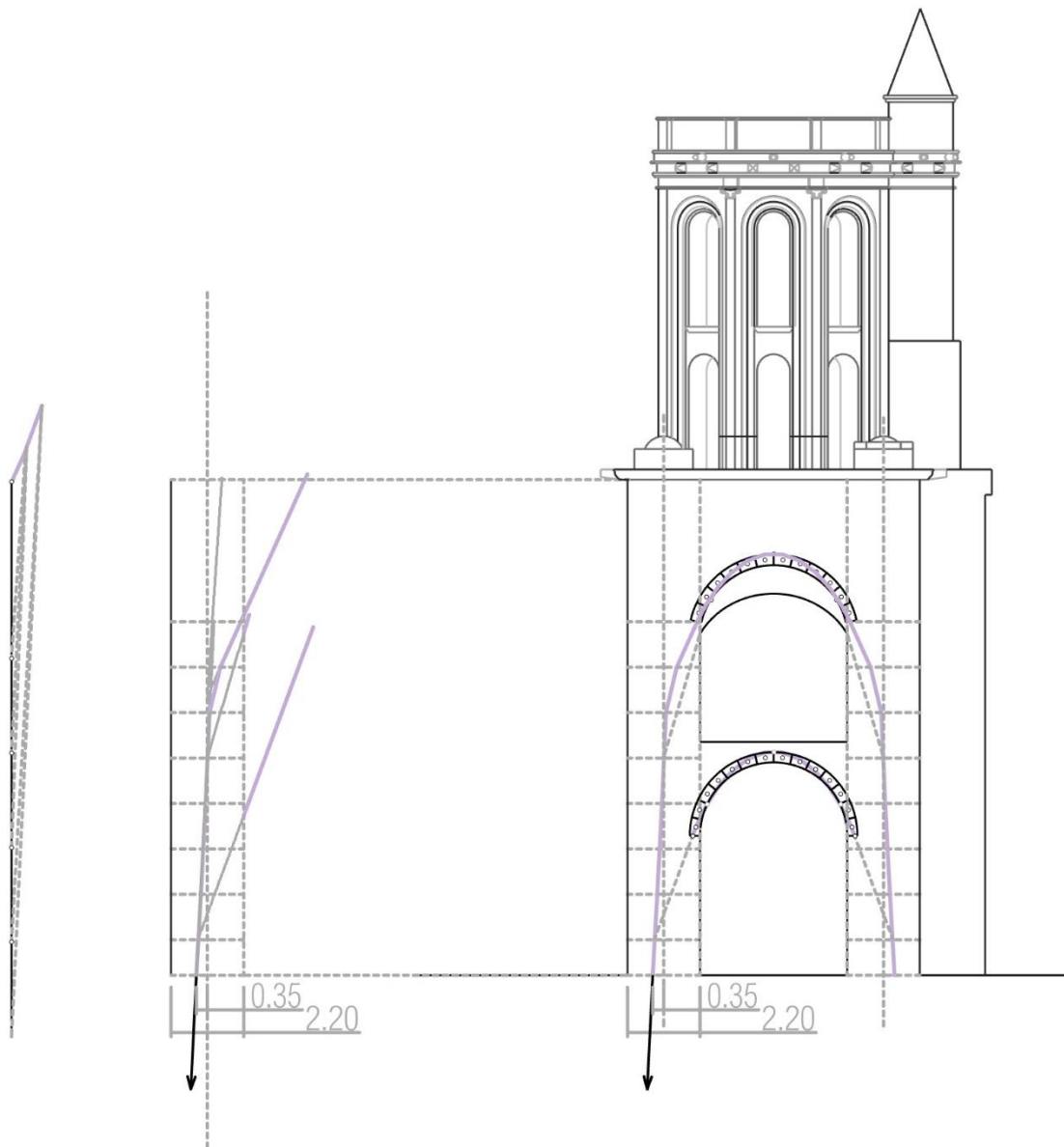
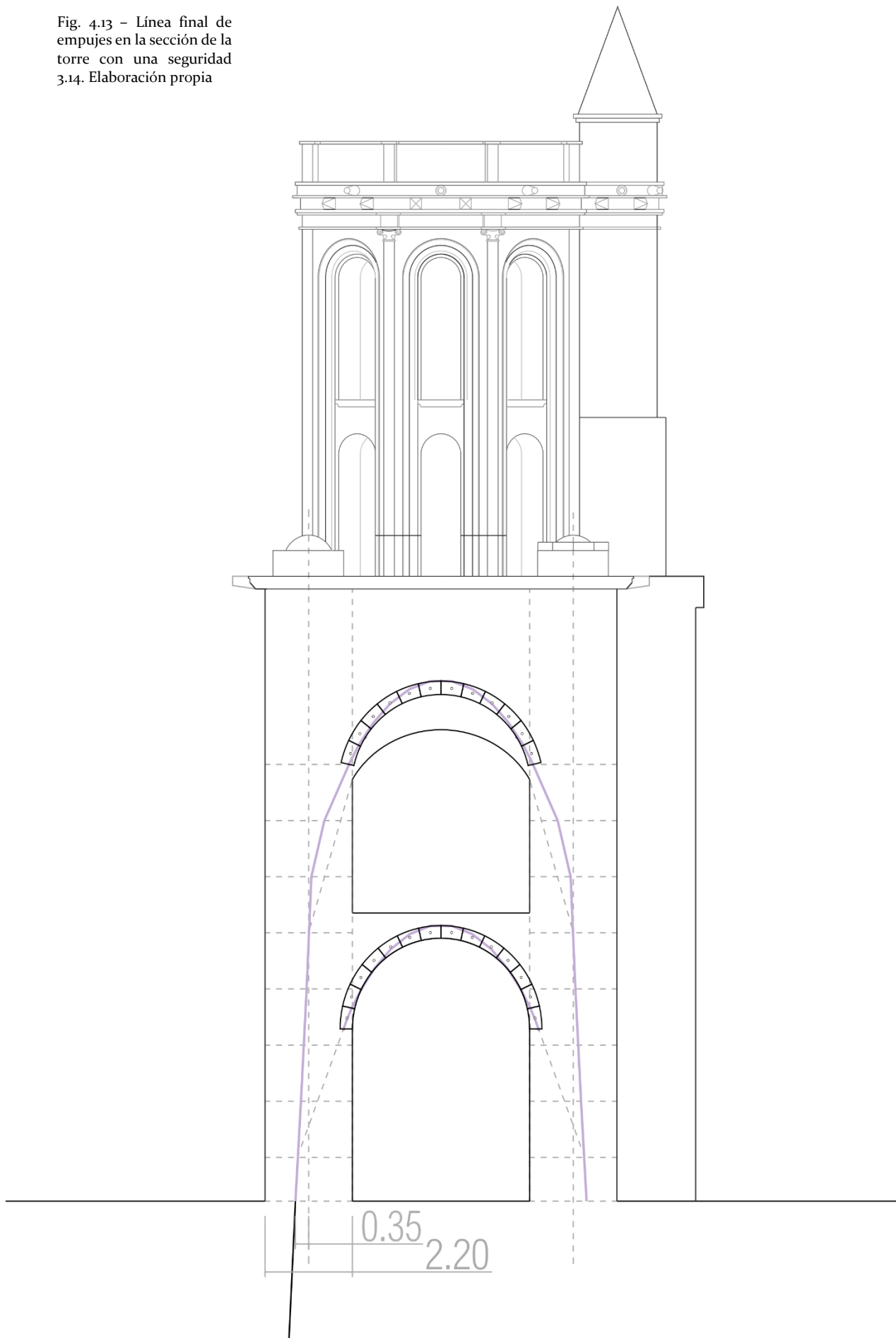


Fig. 4.12 - Trazado de la línea de empujes en macizo lateral y representación del coeficiente de seguridad.

Elaboración propia

Fig. 4.13 - Línea final de empujes en la sección de la torre con una seguridad 3.14. Elaboración propia



## Posible proyecto original de coronación



Fig. 4.14 – Vista de la torre desde el pueblo de Soto Iruz. Elaboración propia.

Actualmente la imagen de la torre se caracteriza por su volumetría geométrica y reconocible. Su cubierta plana hace que resalte el cono que corona las escaleras y se marquen las aristas del esbelto octógono (Fig. 4.14).

En un clima como el de Cantabria no es lógico el tener una cubierta plana debido a la cantidad de agua que tiene que evacuar y los problemas de humedades que puede ocasionar.

Cuando empecé a medir la torre y llegué a la segunda terraza me sorprendió el remate de cornisa del octógono interior que era circular. La torre en todas sus partes tiene elementos de transición de geometrías como las trompas de cuadrado a octógono (Fig. 3.18) o los propios arcos de descarga (Fig. 3.23). Esta circunferencia donde se inscribe 1573 es también un elemento de transición (Fig. 34).

Debido a la poca información que se conserva de la etapa en la que se construye la torre, no se puede saber cuáles serían las intenciones originales de coronación de la misma. En este apartado se argumentará el posible proyecto de coronación que propongo.

Históricamente en la construcción se establecían unos modelos basados en prueba y error, que llevaban a deducir los sistemas estructurales que funcionaban. Es esto por lo que por medio de patrones en las plantas de nuestro patrimonio se puede identificar la intención de proyecto. En el caso de las agujas, siempre se sigue una guía muy característica.

Las torres en el perfil de la ciudad tienen un carácter muy importante (Fig. 4.15). Su altura e imagen simbolizan desde la capacidad económica hasta la ascensión a los cielos. Las agujas proporcionan un claro movimiento ascendente en una torre, “señalan como un dedo índice a lo alto” como dice González Romero en *El gótico alemán en España y la dinastía de los Colonia*.



Fig. 4.15 - Meissen antes de la construcción de la portada occidental BORK, Gotische Türme, 2008

Las agujas o flechas son construcciones muy esbeltas que se alcanzan de manera piramidal. Es un esquema muy repetido el partir de una base octogonal y sobre esta que se apoya la aguja (Fig. 4.16).

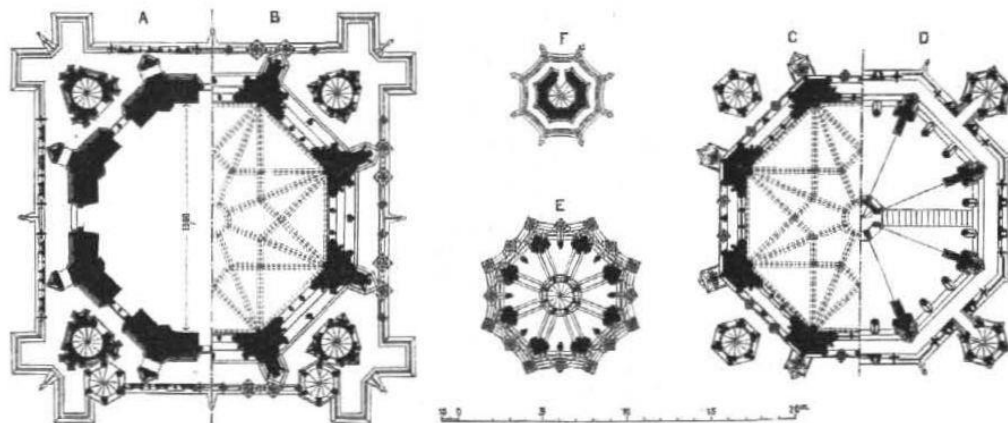


Abb. 6—9. Grundrisse vom Achteck und Helm.

En el caso de la torre del Soto este esquema se aprecia perfectamente. De hecho, uno de los cánones que se seguía en la construcción gótica de agujas era el *ad quadratum* y el *ad triangulum*. Estas reglas de proporción geométrica resultan de relacionar parámetros de la arquitectura como la altura o el ancho con la geometría. El *ad quadratum* relacionaba la altura con la anchura del edificio, buscando la proporción de 1:1 en su relación, es decir  $\sqrt{2}$ . El *ad triangulum* impone que la altura tenga una relación de 1:2 con la anchura, es decir  $\sqrt{3}$ , basándose en el triángulo equilátero.

En las plantas de las agujas que parten de un octógono se puede hallar una relación geométrica con un cuadrado que une los medios lados del rectángulo que inscribe el octógono. Este cuadrado marca la traza paralela al octógono (Fig. 4.17).

Fig. 4.16 - Secciones de la aguja de Ulm. Sarrazin, Hofsfeld 1890.

Fig. 4.17 - Comparación de traza entre las agujas de Ulm, Estrasburgo y Soto.

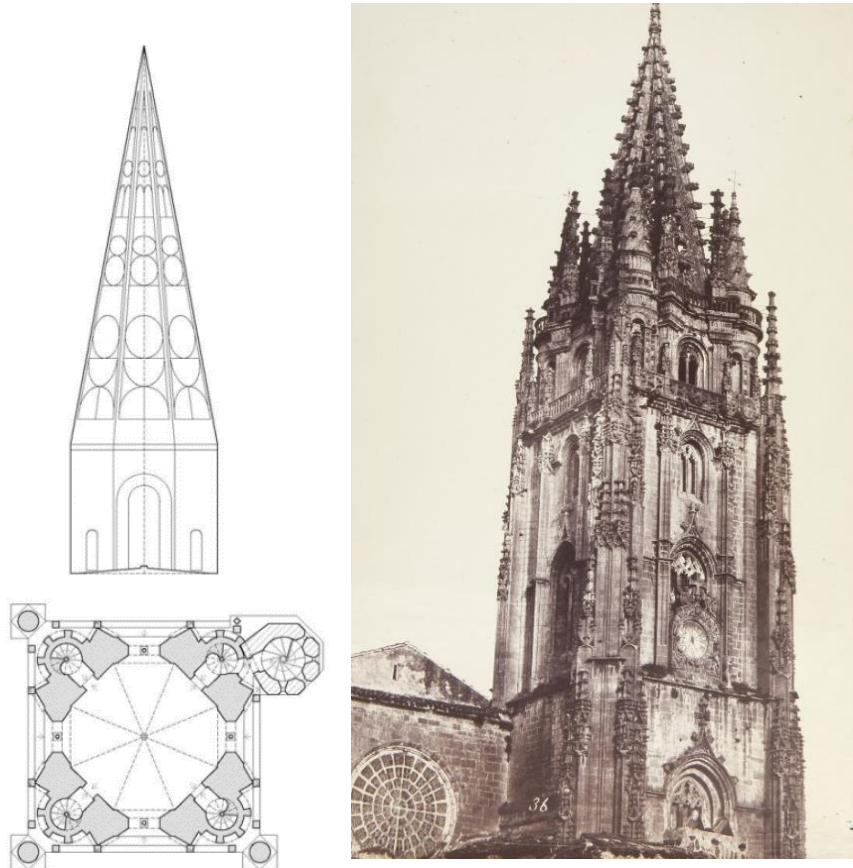
Elaboración propia a partir de imágenes tomadas de BORK, *Gotische Türme*, 2008



Durante esta investigación me he llegado a plantear que esta torre fuera obra de Rodrigo Gil de Hontañón debido a la gran similitud en las trazas de su obra con la torre de Soto Iruz. En su participación en campanarios como el de Segovia o en la Catedral de Oviedo, es reiterativo el intento de mantener la tradición, sustituyendo arcos ojivales por otros de medio punto, que rasgarían así los lados del octógono, solución casi idéntica a la del Soto. (Fig. 4.18).

Fig. 4.18 - Planta y alzado aguja Catedral de Oviedo (P.Moreno)

2 - Imagen de la torre de la Catedral de Oviedo hacia 1854. Clifford, archivo Museo del Prado



El parecido en el esquema de la planta con la del Soto es innegable y partiendo del patrón constructivo de las edificaciones rematadas en aguja, la pregunta es ¿por qué la torre de Nuestra Señora del Soto no tiene flecha? La realidad es que el estilo gótico en Europa permanece desde el siglo XII hasta entrado el XVI en los lugares donde más pervivió. Así como tuvo años de auge, el gótico en el XVI decae y con su caída se paran las construcciones. Muchas de las ciudades que hoy en día conocemos con agujas góticas, son realmente reconstruidas más tarde, en el XIX. Estas construcciones se quedaron congeladas en el tiempo cuando el gótico desaparece (Fig 4.19).

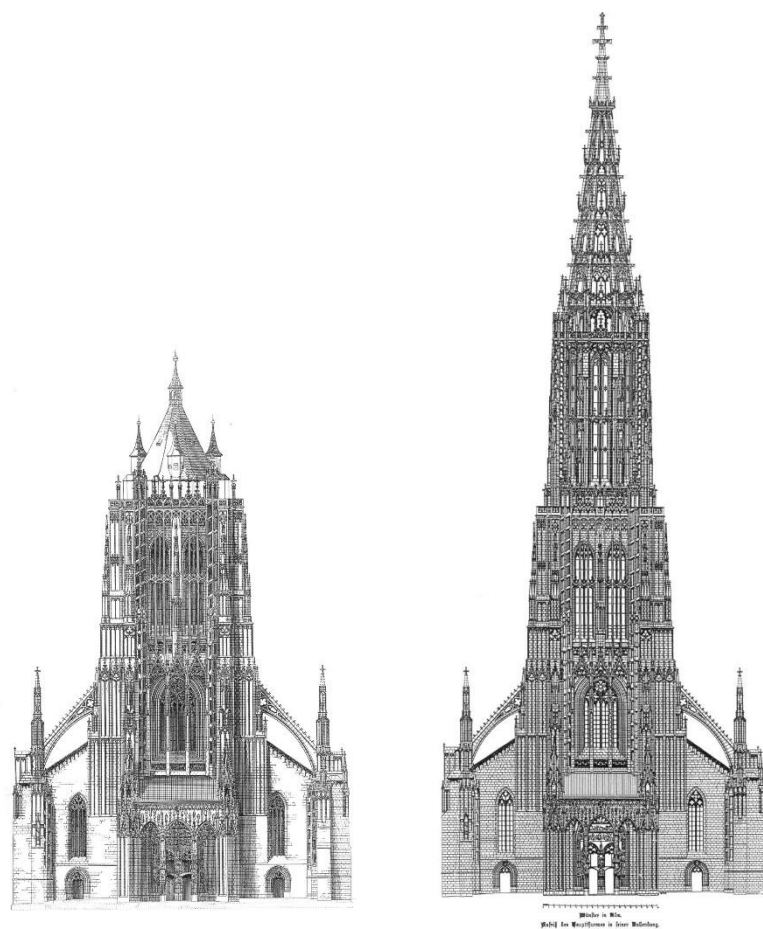


Fig. 4.19 - La aguja catedral de Ulm Antes y después de la construcción de su aguja a finales del siglo XIX. BEYER, August, 1891.

Aunque hoy en día la torre del Soto culmine en una cubierta plana, no siempre fue así. Tal y como recuerda algún habitante del Soto que la pudo ver o al que se lo hayan contado a sus familiares, la torre estuvo coronada en algún momento por otro elemento. Por lo menos hasta 1903 la torre de Nuestra Señora del Soto acababa en una cubierta de teja (Fig. 4.20).



Fig. 4.20 - El Santuario del Soto con tejado en el año 1903. VILLEGAS LÓPEZ, Ramón Imágenes para el recuerdo

No se tiene registrado si ésta cubierta fue retirada por algún motivo en concreto, pero se dice por el pueblo que le cayó un rayo. Esto podría haber producido la destrucción del tejado y si la estructura interior era de madera se habría producido un incendio, que concuerda con la afirmación del Dr. Miguel Gómez Heras, sobre la posibilidad de que se hubiese producido algún accidente de este tipo, al observar marcas de incendios en los sillares de la torre. Sería este el motivo por el que en los años 1950 se interviniera en ella.

Si la torre se proyectó para rematar en flecha o no, seguirá siendo un enigma que no se puede resolver, sin embargo, partiendo de todo lo expuesto, existen motivos para defender la hipótesis sobre su posible coronación original por medio de una aguja. No solo son los elementos encontrados que concuerdan con la transición a una flecha, como la cornisa circular, sino que es imposible ignorar el clarísimo patrón estructural, tan repetido en las agujas del gótico, que se sigue en la torre de Nuestra Señora del Soto (Fig. 4.21).

Fig. 4.21 - Dibujo del aspecto que podría tener la torre del Santuario del Soto si tuviese una aguja propia del gótico tardío

Elaboración propia.





## CONCLUSIONES

La torre de Soto Iruz es un magnífico ejemplo de la transición del Gótico tardío al Renacimiento en el siglo XVI. A pesar de ello es notable la falta de documentación que existe, pues no aparece en ninguno de los inventarios que he podido consultar. Así pues, la primera parte del estudio se ha dedicado a tratar de completar las fuentes documentales y recopilarlas junto con documentos gráficos adquiridos gracias a los estudiosos locales.

La historia de la torre se ve condicionada por el vaivén de órdenes religiosas que toman el Santuario, así como las bruscas transiciones estilísticas de la arquitectura. Con todo, es la torre el elemento que perdura pese a todas las alteraciones y añadidos que se le hacen al conjunto desde la llegada de los franciscanos.

Para conocer la geometría, construcción y estructura de esta magnífica torre ha sido preciso llevar a cabo un trabajo de campo completo. A lo largo de numerosas visitas he elaborado croquis, tomado medidas y realizando levantamientos, para tratar de comprender la historia de la construcción de esta extraordinaria torre.

Lo que se deduce es que durante su construcción hubo un drástico cambio de plan, probablemente un cambio de maestro o arquitecto, en el que el primer cuerpo de la torre estaba rematado por dos bóvedas de crucería, algo inusual, y finalmente podría ser que este nuevo arquitecto continuara la torre y su construcción, proyectando un remate, muy posiblemente en una aguja. El problema aparece cuando ese segundo cuerpo, octogonal, no puede apoyar sobre las bóvedas góticas originales y el maestro, de manera muy inteligente, introduce dos arcos de descarga que soportan todo el peso de la futura ampliación, llevando todas las cargas a los gruesos muros de la base. Este dispositivo de arcos de descarga estaba oculto y hubo que introducirse por un estrecho pasaje para verlos. Esto plantea ya un primer problema de estabilidad que se ha estudiado y se puede ver que efectivamente la geometría y proporción de esos arcos fueron perfectamente intuitivos por el maestro para conseguir un proyecto seguro.

El segundo cuerpo de la torre remata con un octógono que está inscrito en un cuadrado en el que se puede ver la traza y proporción gótica denominada *ad quadratum*, conseguida a base de la rotación de cuadrados. Al compararla con otros proyectos del gótico tardío

se halla una correspondencia de trazado, de donde se deduce la intención de coronar la torre con una flecha.

Otro elemento muy interesante y que no pasa desapercibido es la escalera de caracol de ojo abierto, que está dispuesta en una de las esquinas, intersecando el cilindro en el que está inscrita con el volumen octogonal de la torre. Sobre la escalera se lleva a cabo un estudio estructural, constructivo y geométrico, en el cual se comprueba la concordancia con las reglas de Rodrigo Gil de Hontañón.

Finalmente hay que comentar que las intervenciones modernas no han sido muy afortunadas pues han introducido unos forjados de hormigón eliminando las antiguas bóvedas o forjados de madera que debían completar la torre.

Aunque esta torre seguirá siendo un enigma, este trabajo también pretende poner en valor la conservación del patrimonio y a la vez el rigor a la hora de llevar a cabo las intervenciones adecuadas. Asimismo, se evidencia la importancia de la tradición oral, que de alguna manera mantiene vivos lugares como este.

Este trabajo pretende abrir la puerta a futuros estudios para enriquecer su conocimiento y divulgación, y a la vez, conservar la torre y el Santuario de Nuestra Señora del Soto, para que pueda seguir siendo un hito en el perfil del Valle de Toranzo. Han de plantearse intervenciones patrimoniales para la restauración de las zonas más dañadas y promocionar la visita a estos lugares únicos para así revitalizar el enclave privilegiado que es el Valle de Toranzo y todos los pueblos que conforman las márgenes del río Pas.

En síntesis, se ha abordado la investigación desde los tres aspectos fundamentales de un edificio de fábrica, que son: su construcción, su geometría y su estabilidad, y se ha llegado a entender la evolución de la muy peculiar forma de esta torre única y casi desconocida en el paisaje de Cantabria.

**BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS DIGITALES**

ARAMBURU-ZABALA HIGUERA, Miguel Ángel, 2005. Los canteros de Cantabria. Santander Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Cantabria

BÖKER, Johann Josef, 2005. Architektur der Gotik. Verlag Anton Pustet.

BORK, Robert, 2008. Gotische Türme in Mitteleuropa. IMHOF Kulturgeschichte.

CALVO-LÓPEZ, José, 2020. Stereotomy. Stone Construction and Geometry in Western Europe 1200-1900. Escuela Técnica Superior de Arquitectura y Edificación de Cartagena. España. Birkhäuser.

COFIÑO FERNÁNDEZ, Isabel. 2004. Arquitectura religiosa en Cantabria 1685-1754: las Montañas Bajas del arzobispado de Burgos. Santander Universidad de Cantabria.

DE LA VEGA HORMAECHEA, Pedro. El Santuario del Soto según Crisanto. MyA Libros.

GIL DE HONTAÑÓN, Rodrigo, 1681 copia de Simón Garçia, Compendio de arquitectura y simetría de los templos, manuscrito, Salamanca. Biblioteca Nacional de España, Madrid.

GIL DE HONTAÑÓN, Rodrigo, 1681 copia de Simón Garçia, Compendio de arquitectura y simetría de los templos, manuscrito, Salamanca. Transcripción de RODICIO Cristina, 1991. Colegio Oficial de Arquitectos de Valladolid.

GONZÁLEZ ECHEGARAY, María del Carmen, 1974. Toranzo. Datos para la historia y etnografía de un valle montaños. Institución Cultural de Cantabria.

GONZÁLEZ ROMERO, José Fernando, 2016. El gótico alemán en España y la disnastía de los Colonia. La cristalización de las torres caladas: Friburgo, Burgos y Oviedo. Ediciones Trea.

---

HEYMAN, Jaques, 1995. *The Stone Skeleton*. Cambridge University Press. Edición 1995 *El esqueleto de piedra*, 1999. Instituto Juan de Herrera. CEHOPU.

HEYMAN, Jaques, 1995 *Teoría, historia y restauración de Estructuras de fábrica*. Edición en español, 1995. Instituto Juan de Herrera. CEHOPU.

IBÁÑEZ FERNÁNDEZ, Javier, 2019. *Trazas, muestras y modelos de tradición gótica en la península Ibérica entre los siglos XIII y XVI*. Instituto Juan de Herrera.

KOEPF, Hans 1969. *Die gotischen Planrisse der Wiener Sammlungen*. Hermann Böhlau Nachf SHF. Wien.

LOSADA VAREA, Celestina, 2007. *La arquitectura en el otoño del Renacimiento: Juan de Naveda (1590-1638)*. Consejo Editorial del Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.

MADOZ, Pascual. 1845. *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*. Madrid.

MORENO DOPAZO, Pablo, 2017. *Trazas de montea y cortes de cantería en la obra de Rodrigo Gil de Hontañón*. Universidad Politécnica de Madrid.

VILLEGAS LÓPEZ, Ramón, 2002. *Santiurde de Toranzo: Imágenes para el recuerdo*. Cantabria Tradicional.