

La fábrica de piedra durante los siglos XVII y XVIII en Escocia: estudio preliminar

Clara Gonzalez Manich

Cristina Gonzalez-Longo

Filippo Monari

University of Strathclyde

Resumen

Escocia es un territorio de gran riqueza geológica donde la mayor parte de los edificios históricos están contruidos en piedra. Los s.XVII-XVIII representan un periodo fundamental para el desarrollo de su arquitectura y la consolidación de la figura del arquitecto en sentido moderno. La ampliación y alteración de castillos ancestrales pasa a ser práctica habitual en el s.XVII, resultando en edificios compuestos por estratos de distintas épocas; hasta el s.XVIII cuando las clases dirigentes y profesionales construyen nuevas residencias. En muchas ocasiones no se conserva documentación histórica de estos edificios y el estudio de las fábricas es una herramienta clave para entender su complejidad. El gran número de ruinas de este periodo facilita este estudio, al quedar habitualmente expuesta la estructura del muro.

Este estudio preliminar reconoce la evolución de la arquitectura a través de cambios en la morfología de los muros. La primera parte comprende un estudio de contexto que identifica una evolución en las fábricas de la época en términos de tipología y espesor. La segunda parte estudia dicha evolución en detalle a través del análisis de las fábricas de dos casos representativos: uno de principios del s.XVII y otro de finales del XVIII. El análisis propuesto toma como referencia la experiencia italiana, y define parámetros cuantificables que posibilitan la automatización de parte del proceso empleando técnicas de procesamiento de imágenes. El estudio comparativo de los resultados evidencia un grado de diseño superior en las fábricas más recientes que podría estar relacionado con el papel desempeñado por un arquitecto conocedor de la construcción, pero más interesado en integrar las fábricas en el diseño arquitectónico de la fachada. La investigación continúa en otros edificios del periodo, con el objetivo de concurrir a la construcción de un conocimiento histórico-constructivo que contribuya a la correcta interpretación y consecuente conservación del patrimonio.

Introducción

Escocia es un territorio de gran riqueza geológica. La disponibilidad de piedra apta para la construcción en canteras locales, y la tardía introducción del ladrillo a finales del s. XVIII, son factores que tienen una influencia directa en el carácter predominantemente pétreo de su arquitectura. Los siglos XVII y XVIII representan un periodo fundamental en el desarrollo de dicha arquitectura. Uno de los elementos clave en este proceso es la evolución del papel desempeñado por el maestro de obras y la aparición en la segunda mitad del s. XVII del «gentleman-architect» Sir William Bruce, un mercader convertido en arquitecto (Dunbar et al. 1976). Hasta entonces, los edificios estaban diseñados y construidos por los maestros de obras («master masons»), profesionales altamente educados en el diseño y construcción de estructuras de piedra, registrados en un colegio profesional («Incorporation») (McKean 2001). El cliente desempeñaba en muchas ocasiones un papel decisivo en la elección de modelos arquitectónicos e incluso de materiales (Wemyss 2014). James Smith, mencionado en contratos primero como maestro de obra y poco después como arquitecto, marca un cambio de dirección a su regreso de Roma en 1676, siendo el primer arquitecto escocés en un sentido moderno (González-Longo 2012, González-Longo et al. 2013). Poco a poco la profesión se irá afianzando hasta consolidarse a finales del s. XVIII (Colvin 1986).

La ampliación y alteración de las casas aristocráticas y señoriales se convierte en una práctica habitual en el s. XVII y parte del XVIII. Esto añade un grado de complejidad arquitectónica y constructiva que Charles McKean (2003) ilustra en su estudio de la *Innes House* en Moray. McKean defiende la importancia del análisis de la fábrica como una herramienta de investigación clave para contrastar el estudio histórico documental y alcanzar un correcto entendimiento de la construcción. La identificación de cambios de nivel en forjados, inconsistencias en los espesores de muro, variaciones en el ancho de las aberturas, juntas inoportunas, o cambios significativos de material, son interpretadas como intervenciones de las cuales no siempre existe evidencia documental. McKean reivindicaba así la necesidad de abrir una línea de investigación nueva en Escocia, centrada en el estudio histórico de las fábricas de piedra, estudios por otra parte bien desarrollados en otros países como Italia. El trabajo aquí presentado continúa esta línea y la amplía con la revisión de metodologías de análisis de muros de fábrica existentes en Italia, país de referencia en este campo de estudio y con amplia experiencia en conservar y a veces reconstruir fábricas históricas afectadas por sismo. El gran número de ruinas existentes en Escocia construidas durante los s. XVII y XVIII ofrece una oportunidad para el estudio de la estructura interna de los muros.

Estudios precedentes

Pocos son los trabajos que consideran en Escocia la fábrica como parte de una investigación histórica. Los arquitectos David MacGibbon y Thomas Ross (1887, 1896) desarrollan el primer trabajo sistemático de visitas y levantamientos de castillos (s. XII - XVIII) e iglesias (hasta el s. XVII) en Escocia. Este trabajo se recoge en dos publicaciones de cinco y tres volúmenes respectivamente, e incluye notas históricas, planimetrías, dibujos arquitectónicos, y una descripción general de los edificios en la que generalmente se mencionan aspectos como el número de plantas, dimensiones, la existencia o no de bóvedas, y en ocasiones, el espesor de muro. Es importante entender este estudio en su contexto histórico y cultural, ya que la selección de edificios hecha por MacGibbon y Ross responde a la historiografía de su tiempo en la que el interés se focalizaba en la arquitectura medieval. McKean (2001) también cuestiona esta interpretación de la historia alegando que en este trabajo muchos de los denominados «castillos fortificados» construidos durante los s. XVII y XVIII no son tales, sino interpretaciones erróneas de edificios señoriales de ascendencia renacentista con apariencia defensiva.

El arqueólogo Joachim Zeune (1992) estudia lo que llama «últimos castillos escoceses» construidos entre los s. XV y XVII. Zeune critica el enfoque tipológico-cronológico utilizado por MacGibbon y Ross ya que, a su modo de ver, simplifica la historia de la construcción debido a la omisión de detalles arquitectónicos y hechos históricos cruciales. Por este motivo, propone revisar la datación de los edificios del periodo definido a partir del estudio de aspectos como la geometría en planta, la forma y características de las aberturas, el estudio de las marcas de cantero, o los elementos de piedra tallados como dinteles y jambas. Su investigación no parece tener continuidad. El arquitecto Robert Naismith (1985) toma una dirección distinta, focalizándose en la identificación de las estrategias de composición empleadas en edificios vernaculares. Estudia las características compositivas de una muestra de 23.500 edificios de este tipo construidos entre 1750 y 1914 con el objetivo de

identificar zonas en la que los edificios comparten características («character zones»). Dicha caracterización incluye una breve referencia descriptiva a la fábrica pero desde el punto de vista estético, no constructivo.

Como hemos ya mencionado, Italia tiene una larga tradición en el estudio de estructuras de fábrica. Los numerosos tratados históricos que se conservan son muestra de la sólida cultura arquitectónica y constructiva. El análisis de estos documentos permite reconstruir lo que se conoce como *regola d'arte* (regla de arte), que es el conjunto de reglas constructivas, generalmente transmitidas oralmente a través de la práctica profesional, que garantizan el buen comportamiento del muro y aseguran su monolitismo (Donà et al. 2011). Esta cultura arquitectónica y constructiva, la cultura de la restauración en la que Italia ocupa también un destacado lugar, y la necesidad de intervenir después de los frecuentes terremotos, ha favorecido el desarrollo de un sólido conocimiento histórico-constructivo y una metodología científica para el análisis y caracterización de las estructuras de fábrica en ese país. El documento producido por el *Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione* (ICCD, 2013) en Italia resume las distintas fases de este proceso situando su inicio en el trabajo del ingeniero Antonino Giuffrè (1991). Este autor es el primero en proponer una evaluación de la calidad de un paramento de fábrica de piedra, y a través del estudio de la *regola d'arte* local clasifica los tipos de muro prevalentes en la región de Ortigia (Giuffrè 2006). Las investigaciones subsiguientes contribuyen a desarrollar una metodología basada en la interdisciplinariedad y el conocimiento de las técnicas y soluciones constructivas a nivel local, que adopta el uso de fichas técnicas como herramienta clave para la recolección sistemática de los datos in situ.

Siguiendo esta metodología de estudio, el estudio histórico de la construcción realizado por Renzo Chioveli (2007) en Viterbo demuestra cómo una investigación sistemática de las fábricas de piedra contribuye a escribir la historia de la arquitectura, combinando el trabajo de campo con el estudio de la documentación de archivo. Tomando esta documentación como base consigue, a través de un análisis gráfico y dimensional, caracterizar las mamposterías e identificar y documentar las técnicas constructivas empleadas, diferenciando las distintas etapas del periodo medieval.

Otro ejemplo de calificación de los muros en relación a su comportamiento estructural es el llamado *método dell'Indice di Qualità Muraria (IQM)* (método del índice de la calidad de los muros)(Donà et al. 2011). Este método evalúa la calidad de la fábrica a partir de la identificación visual *in situ* de las distintas características que definen la *regola d'arte* de la construcción de una pared. El resultado proporciona un índice que permite calificar el comportamiento de la fábrica frente a las distintas acciones a las que está sometida.

Metodología

A diferencia de Italia, Escocia no es una zona sísmica y presenta unas condiciones climáticas más desfavorables. Consecuentemente no sería adecuada una aplicación literal del método italiano, aunque sí podría hacerse con algunas variaciones que lo adapten a las necesidades específicas del territorio. Este estudio busca continuar las ideas de McKean y aprender de la experiencia italiana. Basado en estas dos referencias principales, este artículo presenta un estudio preliminar sobre la morfología de los muros de fábrica de piedra utilizados en la construcción de arquitectura señorial durante los s. XVII y XVIII en Escocia, y propone una metodología orientada a la caracterización constructiva de los muros de piedra en contraposición a los estudios tipológicos, arqueológicos y compositivos antes mencionados. Esta metodología desarrolla en primer lugar un estudio del contexto, en el que se analiza la evolución de las características constructivas generales de los edificios de los s. XVII y XVIII, y continúa con el estudio detallado de dos casos representativos de la época.

El estudio de contexto se realiza aplicando un análisis estadístico. Este tipo de análisis, habitual en campos como la biología (McDonald 2008), se aplica en este caso para evaluar de forma objetiva las características de los edificios de la época. La base de datos analizada está compuesta por 366 edificios seleccionados del grupo designado como Periodo 4 (1542-1700) en el estudio de MacGibbon y Ross (1887), y está elaborada a partir de la revisión bibliográfica de distintas fuentes y bases de datos: MacGibbon y Ross (1887), el catálogo online del *National Record of the Historic Environment (Canmore)*, y el catálogo de edificios de *Historic Environment Scotland*. Cada edificio está caracterizado por diez parámetros que proporcionan una descripción sobre el contexto, la planta, la sección, y los muros de fábrica de piedra del edificio. La tabla 1 lista estos parámetros especificando su abreviación y definiendo el grupo de variable (categórica o cuantitativa) al que pertenecen.

VARIABLES CATEGÓRICAS	
LOR	Zona geográfica
MT	Tipo de aparejo de piedra predominante en el edificio
NF	Número de plantas promedio sobre el nivel del terreno
NV	Número de plantas abovedadas
PE	Periodo cronológico
PL	Composición/diseño en planta
VARIABLES CUANTITATIVAS	
AA	Superficie construida en PB en m ²
MS	Luz máxima en m de planta primera
T1	Espesor de pared predominante en planta baja respecto al total de metros lineales de muro en m
T2	Segundo espesor de pared predominante en planta baja respecto al total de metros lineales de muro en m

Tabla 1: Parámetros definidos para el análisis estadístico.

Los muros de fábrica de piedra están caracterizados por 3 de los 10 parámetros definidos: T1 y T2 definen los espesores de muro prevalentes, y MT define el tipo de aparejo. El objetivo del análisis estadístico es determinar el grado de dependencia entre estos 3 parámetros y los 7 restantes. Para ello se estudian las posibles combinaciones de pares de variables, que pueden ser de tres tipos: (1) categórica-categórica, (2) categórica-cuantitativa, y (3) cuantitativa-cuantitativa. En las combinaciones categórica-categórica se aplica el test exacto de Fisher o la prueba χ^2 , según sea el tamaño de la muestra (Agresti 2007); mientras que en las combinaciones categórica-cuantitativa se aplica la prueba de Kolmogórov-Smirnov (Marsaglia et al. 2003). En ambos casos se estudian las variaciones en las distribuciones de la primera variable (categórica o cuantitativa) de acuerdo a los distintos niveles de la segunda (categórica), y se obtiene el p-valor de cada combinación. Las combinaciones cuantitativa-cuantitativa se estudian mediante análisis de regresión (Green et al. 1994) cuyo objetivo es definir la correlación entre ambas. El resultado es el coeficiente de determinación R^2 para cada par de variables. Dependiendo de la significación de los p-valores y los valores R^2 , se califica el grado de dependencia entre parámetros (w) en una escala de 0 (mínima dependencia) a 1 (máxima dependencia). El sistema de relaciones de dependencia resultante se visualiza aplicando análisis de redes (Csardi et al. 2006). Los nodos de la red (nodes) corresponden a cada uno de los parámetros del sistema, mientras que las conexiones entre ellos (edges) están definidas por los valores w calculados previamente (Fig.1). A partir de las conclusiones obtenidas se seleccionan dos casos de estudio representativos para un análisis detallado de sus fábricas.

La caracterización de las fábricas de piedra toma como referencia el método IQM mencionado anteriormente (Donà et al. 2011). Aunque en este caso el objetivo no es la calificación de la calidad del muro, la identificación de aspectos relacionados con la *regola d'arte* permite definir las características de la fábrica. Debido a la condición de ruina de los edificios seleccionados, el aparejo de los paramentos interior y exterior de los muros es visible e incluso, en algunas áreas, la sección está expuesta. El análisis se realiza a partir de fotografías de ambas caras del muro que comprenden un área de 1 m². Para obtener estas imágenes a escala se coloca un bastidor de 1m x 1m sobre el paramento, enmarcando el área seleccionada. Más tarde, las imágenes se procesan de forma semiautomática: primeramente, las fotografías se transforman manualmente en imágenes binarias; posteriormente se analizan mediante un sistema automatizado utilizando procesamiento de imagen.

El análisis de estas imágenes a escala se focaliza en la extracción de valores considerados determinantes en la configuración de los muros:

- 1) distribución en porcentajes de junta de mortero, ripio, y unidades de piedra
- 2) coeficiente de regularidad medio de las unidades (CRM), calculado como el área real de la unidad de piedra en alzado dividido entre el área del rectángulo circunscrito
- 3) altura media de las unidades
- 4) línea mínima de trazado (LMT) según propuesto por F. Doglioni y G. Mirabella Roberti (2003)

5) continuidad de las hiladas

El análisis de los muros incluye además la identificación de la composición en sección (identificando también el grado de trabazón transversal) y el tamaño y trabazón de las unidades de piedra en los encuentros en esquina. Los puntos mencionados se definen adaptando los parámetros definidos en el método IQM referido, a la *regola d'arte* identificada en Escocia. Este conjunto de valores caracteriza los muros y posibilita el posterior análisis comparativo de las distintas fábricas.

Estudio de contexto

La Figura 1 muestra el mapa sistema de relaciones de dependencia resultante del análisis estadístico descrito en el apartado anterior. En este sistema, el parámetro más determinante para los espesores de muro (T1 y T2) es el tipo de planta (PL).

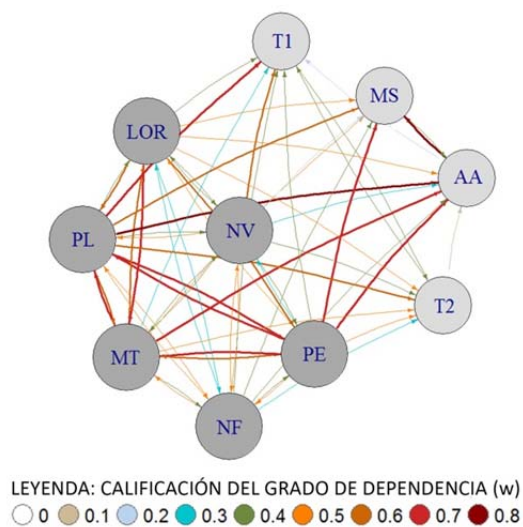


Figura 1: Mapa del sistema de relaciones de dependencia.

El estudio detallado del espesor de muro T1 en relación a los distintos tipos de planta definidos permite identificar dos casos extremos respecto al rango de espesores de muro posibles. Los rangos máximos corresponden a los edificios con plantas tipo *torre* y a las plantas en Z, que pueden tener espesores entre 0.6 m y 2.7 m (en el primer caso) o 0.6 y 3.3 m (en el segundo caso), aunque la mayoría de estos casos varían entre 1.1 m y 1.9 m (el 65% de los casos con planta tipo *torre*) o entre 1 m y 1.5 m (el 73 % de los casos con planta en Z). El caso opuesto es el de los edificios con plantas tipo *Villa*, cuyos espesores varían entre 0.7 m y 1.2 m (rango más reducido) aunque en la mayoría de los casos (71 %) está entre 0.9 m y 1.1 m. El resto de tipos de plantas presenta situaciones intermedias con espesores más frecuentes entre 0.8 m y 1.1 m según el caso.

Las plantas tipo *torre* son habituales anteriormente al s. XVII, mientras que los edificios tipo *Villa* aparecen a finales del XVII. El análisis del espesor T1 respecto al periodo de construcción (PE) confirma la sabida tendencia a reducir el espesor de los muros con el paso del tiempo, y permite identificar valores específicos. Los edificios construidos anteriormente al s. XVII (80 casos) tienen espesores de muro en planta baja que varían entre 0.7 m y 2.3 m, siendo 1.1 m el valor más habitual (Fig.2-A). En cambio, aquellos construidos durante los s. XVII y XVIII (56 casos) tienen un rango más reducido, con espesores inferiores a 2 m, siendo el valor más habitual 0.9 m (Fig.2-C). Finalmente, los edificios cuya construcción es anterior al s. XVII pero que incorporan alteraciones o extensiones de los s. XVII y XVIII (81 casos) presentan una situación intermedia (Fig.2-B).

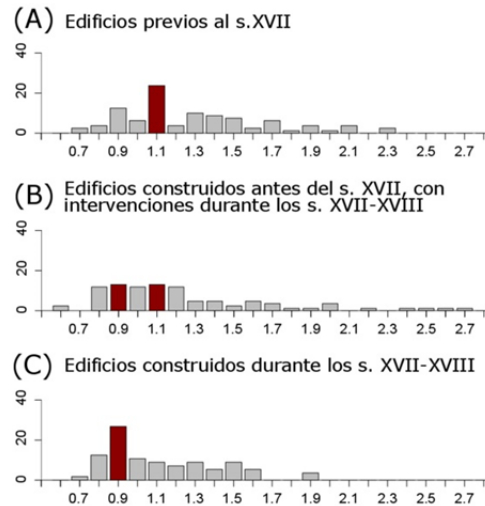


Figura 2: Histogramas T1 vs. PE. El eje X corresponde a los espesores de muro (T1) en cm. El eje Y define frecuencia en porcentajes.

Parámetros como el número de plantas (NF) o la luz máxima en la primera planta (MS) suelen ser determinantes en el diseño y definición del espesor de muro ya que están directamente relacionados con el nivel de sollicitación de la estructura. Contrariamente, en el mapa de dependencias no comparten una conexión relevante con los espesores (T1, T2) o el tipo de aparejo (MT). Esto es debido a que todos los edificios de la muestra tienen valores parecidos. En el caso de NF, la mayoría de los edificios considerados (81 %) están compuestos por 3 o 4 plantas. Igualmente en el caso de MS, el 87 % de los edificios tienen luces inferiores a 6.5m. Sin embargo, el número de plantas abovedadas (NV) comparte una relación de dependencia discreta con T1 a pesar que la mayor parte de los edificios (81 %) tiene solamente una de sus plantas abovedada (normalmente el nivel inferior). El estudio detallado de estos dos parámetros muestra una cierta tendencia a crecer del espesor de muro cuando incrementa el número bóvedas. Así pues, edificios con 2 o más plantas abovedadas tienen espesores de muro mayores de 1.1 m, mientras que edificios sin bóvedas suelen tener espesores entre 0.9 m y 1 m. Sin embargo, la situación más habitual (sólo una planta abovedada) presenta una distribución homogénea con un amplio rango de espesores (entre 0.7 m y 2.5 m), y un ligero pico entre 0.9 m y 1.1 m que representa el 42 % de los casos.

Finalmente, el tercer parámetro que caracteriza las fábricas es el tipo de aparejo (MT). MT, T1 y T2 no tienen una interdependencia directa relevante en el sistema, pero todos están conectados con el tipo de planta (PL). El estudio del tipo de planta PL respecto al tipo de fábrica MT, destaca que la mayoría de los edificios (88 %) están construidos con fábrica ordinaria regular o irregular. La planta tipo *Villa* es el único tipo de planta que incluye en todos los casos sillería, ya sea en una parte o en todo el edificio.

En conclusión, se identifica una tendencia decreciente en el tiempo del espesor de los muros de la planta de acceso, en la que se abandonan los valores superiores a 2 m y los espesores más habituales pasan de 1.1 m a 0.9 m. El parámetro más condicionante en este proceso es el tipo de planta, aunque cabe remarcar la influencia discreta del número de bóvedas en el sistema. En cambio, parámetros como el número de plantas o la luz del espacio interior no son determinantes debido a que la mayoría de los edificios de la muestra tienen los mismos valores. Finalmente, la identificación de sillería en todas las plantas tipo *Vila*, habituales en el s. XVIII, podría interpretarse como un indicador de evolución en el uso del tipo de fábrica.

Análisis de los casos de estudio

Como hemos visto, el estudio de contexto identifica una evolución de las mamposterías utilizadas durante los s. XVII y XVIII, tanto en términos de espesor como de tipo. Considerando este resultado se seleccionan dos casos de estudio, uno de inicios del s. XVII y otro de finales del XVIII para analizar en detalle esta evolución.

Gilbertfield Castle

El primer caso de estudio es Gilbertfield Castle (Fig.3), construido cerca de Glasgow con fábrica ordinaria. Gilbertfield Castle corresponde al tipo de edificio conocido como casa-torre, habitual durante s. XVI aunque sus últimos exponentes datan de principios del XVII. La planta presenta una geometría en L, con el nivel inferior abovedado y los tres niveles superiores originalmente formados con forjado de viguetas. De autor desconocido, el año 1607 tallado en una de sus piedras es la única evidencia de la fecha de su construcción. La presencia de alguna inconsistencia en el grueso de las paredes de fachada y discontinuidades en las hiladas podría ser indicios de intervenciones de las que no existe evidencia documental.



Fig.3: Ala noroeste del castillo Gilbertfield.

De la planta original en L hoy sólo queda en pie la estructura de piedra del ala noroeste dejando vista la sección del edificio (Fig.3). En planta baja se definen 5 espesores distintos de muro (Fig.4). Las particiones interiores están formadas por muros de piedra de una sola hoja, de entre 30 cm y 35 cm de espesor. Las fachadas tienen un espesor de muro de unos 85 cm, excepto en dos casos: el tramo de fachada oeste correspondiente a la escalera, que mide 65 cm; y la fachada sur, que tiene un espesor de 100 cm. En este último caso, el muro está seccionado en toda su altura quedando a la vista su composición. La sección en PB está compuesta por dos hojas exteriores de fábrica ordinaria regular y un núcleo interior compacto a base de mortero y piedras de distintos tamaños bien acañadas. La presencia de elementos de conexión transversal (trabas) es un indicador de un buen grado de trabazón en sección. En las plantas superiores el corte ocurre por las aberturas, donde los antepechos están formados por una hoja de piedra de 40 cm de espesor pese a que el total de fachada es 85 cm.

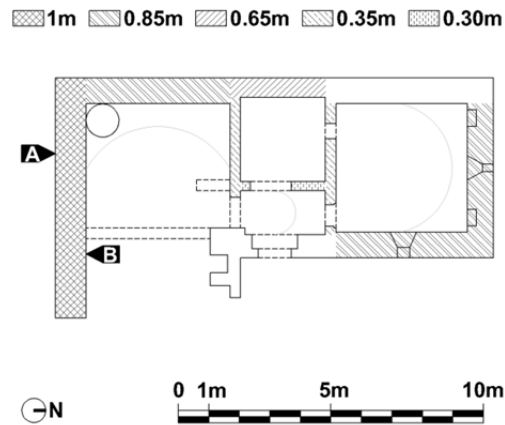


Fig.4: Planta baja del castillo Gilbertfield con indicación de los distintos espesores de muro. A y B definen la posición de las imágenes de 1m² obtenidas a nivel de planta baja.

Las imágenes A y B (Figs. 5) corresponden respectivamente a la cara exterior e interior de la fachada sur (**Error! Reference source not found.**). En la cara exterior (Fig.5-A), el 17.6 % de la superficie corresponde a las juntas de mortero, mientras que el resto se divide entre un 77 % de bloques de piedra y un 5.4 % de ripio. El coeficiente de regularidad medio de las unidades (CRM) es de 0.82, la altura media de las unidades es de 26 cm, y la línea de mínimo trazado (LMT) 109.5 cm. En este caso pueden identificarse 3 hiladas completas más o menos continuas, de altura variable. La cara interior (Fig.5-B) mantiene el mismo porcentaje de juntas de mortero (17.6 %), disminuyendo los bloques de piedra al 71.4 % e incrementando el ripio al 11 %. El CRM se mantiene en 0.81 y la altura media de las unidades baja a 12 cm. En este caso es difícil identificar hiladas, pero la LMT crece levemente hasta 118.9 cm. Ambos paramentos tienen características parecidas aunque la cara exterior está compuesta por unidades de mayor tamaño que la interior.

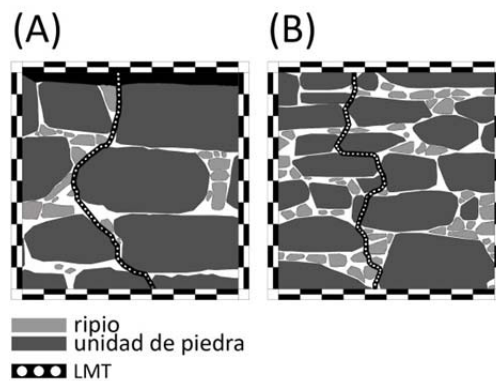


Figura 5: Imágenes a escala (1 m²) de la fachada sur del castillo Gilbertfield. A) Cara exterior, y B) interior.

Finalmente, los remates en esquina están formados por una alternancia regular de unidades de piedra de tamaño medio 66 cm x 29 cm x 35 cm correspondientes a la base, altura y profundidad respectivamente.

El segundo caso de estudio es Dalquharran Castle, en el South Ayrshire (Fig.6), diseñado y construido con sillería por el arquitecto Robert Adam a finales del s. XVIII siguiendo los cánones neoclasicistas conocidos como «Adam Style» (Davis 1991). La ampliación posterior documentada de las alas laterales es difícil de distinguir a simple vista, aunque puede corroborarse a través de una observación detallada de la fábrica existente. La planta del edificio es rectangular y podría clasificarse como una *Villa compacta*. El edificio está compuesto por una planta baja y dos niveles principales de forjado ligero. El sótano, probablemente abovedado, ventila a través de un patio inglés que discurre alrededor de todo el perímetro del edificio .



Figura 6: Imagen de la fachada noroeste del castillo Dalquharran.

La estructura de piedra del castillo Dalquharran se mantiene prácticamente intacta pese a su condición de ruina, y está compuesta por paredes de distintos espesores en planta (Fig.7). Las fachadas y muros portantes de la parte original del edificio (parte central) tienen espesores entre 110 cm y 95 cm, mientras que los de la extensión posterior (alas laterales) presentan espesores de 85-70 cm. Finalmente, las particiones interiores son de 30-35cm de espesor.

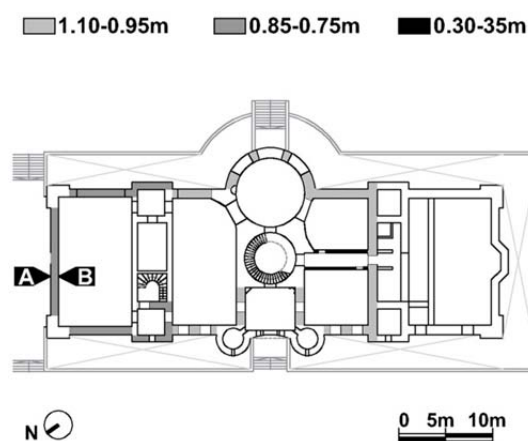


Figura 7: Planta baja del castillo Dalquharran con indicación de los distintos espesores de muro identificados in situ. A y B definen la posición de las imágenes de 1m² fotografiadas a nivel de planta baja.

Las imágenes A y B de la Figura 8 corresponden respectivamente a la cara exterior e interior de la fachada noreste, según se indica en la Figura 7. El muro estudiado tiene un espesor de 85 cm tanto en PB como en los niveles superiores. En el caso de la imagen correspondiente a la cara exterior (Fig.8-A), las juntas representan el 2.9 %, mientras que el 97.1% restante corresponde a las unidades de piedra. No se detecta presencia de ripios, y el coeficiente de regularidad medio de las unidades (CRM) es igual a 1 (sillares con aristas rectas). La altura media de las unidades es de 30 cm, y la línea de mínimo trazado (LMT) 168 cm. Las hiladas son continuas en todo el perímetro del edificio, coincidiendo con las aberturas y demás elementos de composición de la fachada. La imagen B (Fig.8-B) presenta unas características diferentes. En este caso, el porcentaje de piedra es del 80 %, las juntas representan el 16.4 %, y el 3.6 % restante es ripio. El CRM desciende a 0.84, y la altura media a 26 cm. La LMT también presenta un valor inferior, igual a 107.9 cm. Sin embargo se mantiene la continuidad en las hiladas.

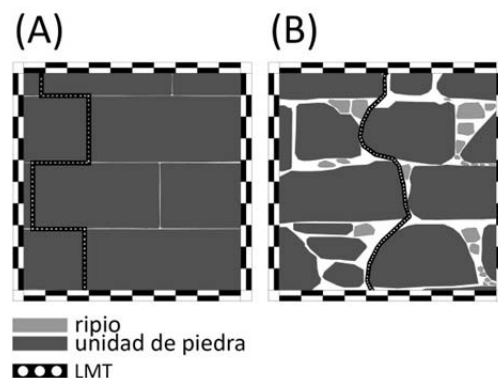


Figura 8: Imágenes a escala (1 m²) de la fachada sur del castillo Dalquharran. A) Cara exterior, y B) interior

Debido al buen estado de conservación de la estructura, la sección del muro no es visible en ningún punto del edificio. Pese a todo, la comparación de las imágenes A y B definen una pared compuesta por una hoja exterior de sillería y una interior de fábrica ordinaria, construidas manteniendo la continuidad de las hiladas en todo el edificio. El espesor total de 85 cm podría incorporar núcleo interior. La observación detallada de los alzados interior y exterior del muro permite identificar la presencia regular de los elementos de conexión transversal referidos en el caso anterior, e indicativos de una buena trabazón en sección. Finalmente, las esquinas están formadas por una alternancia regular de unidades de piedra de tamaño medio 92 cm x 31 cm x 33 cm correspondientes a la base, altura y profundidad respectivamente.

Discusión de los resultados

La definición de parámetros cuantificables posibilita la caracterización y comparación objetiva de las distintas fábricas.

Los muros analizados tienen características diferentes. Por un lado, el muro del castillo Gilbertfield, edificio tipo casa-torre de inicios del s. XVII, tiene una sección variable en altura, de espesor 100 cm en planta baja y 85 cm en las plantas superiores. Por otro lado, el muro del castillo Dalquharran, edificio tipo *Villa* de finales del XVIII, tiene una sección vertical de 85 cm de espesor tanto en planta baja como en los niveles superiores.

En el caso del castillo Gilbertfield se identifica una fábrica ordinaria (5.4 % de ripio en el exterior y 11 % en el interior) con unidades de piedra irregulares ligeramente labradas en algunos casos (coeficiente de regularidad 0.8), compuesta por un núcleo interior compacto y dos hojas con el mismo porcentaje de junta (17.6 %) pero con unidades de tamaño mayor en el exterior. Las hiladas no son continuas en todo el edificio, y la traba en alzado no se respeta ya que las LMT interior y exterior presentan valores inferiores a 140 m. Por otro lado, el

castillo Dalquharran está compuesto por una fábrica de dos hojas con características diferentes. La hoja exterior es de sillería con juntas muy finas (2.9 %) y sillares escuadrados (coeficiente de regularidad 1). El paramento interior es de una fábrica ordinaria con características muy parecidas a la hoja exterior del castillo Gilbertfield, aunque en este caso las hiladas horizontales se mantienen continuas en todo el perímetro del edificio para ambos paramentos. La traba en alzado se cumple parcialmente, ya que sólo el paramento exterior presenta una LMT mayor a 160 m. En cambio, las fábricas de ambos casos tienen una buena traba en sección debido a la presencia de conectores, y las esquinas también tienen una correcta alternancia de elementos aunque las dimensiones varían de un caso a otro.

Conclusión

Los s. XVII y XVIII son un periodo fundamental en la evolución de la arquitectura en Escocia. Este estudio preliminar centrado en las residencias aristocráticas y señoriales construidas durante este periodo permite reconocer la evolución de su arquitectura a través de los cambios en el diseño y morfología de los muros. La complejidad de estos edificios, muchas veces compuestos por distintas fases constructivas, requiere el desarrollo de una metodología adecuada. El estudio de las fábricas es fundamental para entender la arquitectura del periodo, no siempre documentada en archivos, y así informar los proyectos de restauración.

La metodología propuesta comienza con el estudio de contexto a través de un análisis estadístico que identifica la reducción del espesor de los muros con el tiempo. A través de este análisis se establece que los muros de más de 2 m de espesor en la planta acceso desaparecen en el s. XVIII, y la mayoría de los espesores de muro disminuyen aproximadamente 20 cm entre el s. XVI y finales del XVIII, resultando en valores cercanos a 90 cm. Por otro lado, la identificación de sillería en todas las plantas tipo *Villa*, habituales a finales del s. XVIII y principios del XVIII, podría interpretarse como un indicador de la evolución arquitectónica, cada vez más eficiente y planeada. La segunda parte del estudio analiza en detalle las fábricas de dos casos de estudio representativos: uno de principios del s. XVII y otro de finales del s. XVIII. El análisis tiene como referencia principal la extensiva experiencia italiana en este tipo de análisis y define parámetros específicos que posibilitan la automatización parcial del proceso empleando técnicas de procesamiento de imagen. El estudio comparativo de los resultados evidencia un grado de diseño superior en la fábrica perteneciente al edificio de finales del s. XVIII que parece estar relacionado con el desarrollo de la profesión de arquitecto. Esta mampostería tiene una hoja exterior de sillares perfectamente escuadrados, hileras de 30cm de altura y juntas muy finas (2.6%) continuas en todo el perímetro del edificio; mientras que el caso de principios del XVII está compuesto por una mampostería ordinaria con un 17.6% de junta, bloques más irregulares e hiladas de una media de 26cm de altura en la cara exterior. No obstante, es necesaria la aplicación de esta metodología en un número mayor de casos para verificar estas hipótesis, y es así como la investigación continúa actualmente. El objetivo final es crear un conocimiento histórico-constructivo detallado de la arquitectura del periodo que contribuya a la correcta interpretación y consecuente conservación de este importante patrimonio.

Agradecimientos

Esta investigación está financiada por la *University of Strathclyde e Historic Environment Scotland* (HES). Los autores agradecen a David Mitchell, Colin Tennant y a su equipo en HES por su apoyo. Un particular agradecimiento a Antonella Negri, arquitecta restauradora directora en el *Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione* del *Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo* (Italy) y al arquitecto restaurador y profesor Renzo Chiovelli por compartir su extraordinaria experiencia. Agradecer también a Charles Wemyss y a los propietarios de los edificios estudiados en este artículo por su generosa ayuda y colaboración.

Lista de referencias

Agresti, A. 2007. *An Introduction to Categorical Data Analysis*. John Wiley & Sons, 30. New York

Chiovelli, Renzo. 2007. *Technique costruttive murarie medievalli. La Tuscia. Storia della tecnica edilizia e restauro dei monumenti*. Roma.

- Colvin, Howard. 1986. The Beginnings of the Architectural Profession in Scotland. *Architectural History*. SAHGB Publications Limited. 29: 168-182.
- Csardi, Gabor y Nepusz, Tamas. 2006. The igraph software package for complex network research. *InterJournal*. Complex Systems: 1695.
- Davis, Michael C. 1991. *The Castles and mansions of Ayrshire*. Publicación privada. Scotland: Argyll.
- Dogliani, F. y Mirabella Roberti, G. 2003. *Prove sperimentali speditive e valutazioni di vulnerabilità delle murature, in Monumenti & Terremoti- Nuove esperienze di analisi di vulnerabilità-pericolosità sismica*. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Istituto Centrale per il Restauro, 93-106. Roma.
- Donà, Chiara y De Maria, Alessandro. 2011. *Manuale delle murature storiche. Volume I: Analisi e valutazione del comportamento strutturale*. Dei Tipografia del Genio Civile. Roma.
- Dunbar, John G. 1966. *The Architecture of Scotland*. B. T. Batsford Ltd. London.
- Dunbar, John G.; Fisher, I.; Hay, G.D.; Fenton, A.; Walker, B. y Dent, J.S. 1976. *Building Construction in Scotland: Some Historical and Regional Aspects*. Scottish Vernacular Buildings Working Group.
- Giuffrè, Antonino. 1991. *Lecture sulla meccanica delle murature storiche*. Edizioni Kappa.
- Giuffrè, Antonino. 2006 *Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia. Codice di pratica per gli interventi antisismici nel centro storico*. Editori Laterza.
- Gonzalez-Longo, C. y Theodossopoulos, D. 2012. From Master Mason to Architect: James Smith's Construction Techniques at the End of 17th Century in Scotland. *Nuts & Bolts of Construction History: Culture, Technology and Society*. Proceedings of the 4th International Conference of Construction History. Vol.2: 37-45. Picard: Paris.
- Gonzalez-Longo, C. 2013. James Smith and Rome. *Architectural Heritage*. Vol.2:75-96.
- Green, P. J. y Silverman, B. W. 1994. *Nonparametric Regression and Generalized Linear Models: A Roughness Penalty Approach*. Chapman and Hall. London
- ICCD Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione. 2013. *Criteri di descrizione delle tecniche murarie per la predisposizione di moduli schedografici codificati*. Ministero per i Beni e le Attività Culturali. Roma.
- McDonald, John H. 2008. *Handbook of Biological Statistics*. Sparky House Publishing. Maryland: Baltimore.
- MacGibbon, David y Ross, Thomas. (1887-92). *The Castellated and Domestic Architecture of Scotland from the Twelfth to the Eighteenth Century*. Scotland: Edinburgh.
- MacGibbon, David y Ross, Thomas. (1896-97) *The Ecclesiastical Architecture of Scotland from the earliest Christian times to the seventeenth century*, 3 vols.
- Marsaglia, George; Tsang, Wai Wan y Wang, Jingbo. 2003. Evaluating Kolmogorov's distribution. *Journal of Statistical Software*. Vol.8, Issue 18.
- McKean, Charles. 2001. *Scottish Chateau: The Country House of Renaissance Scotland*. Sutton Publishing. Gloucestershire: Thrupp.
- McKean, Charles. 2003. The architectural evolution of Innes House, Moray. *Society of Antiquaries of Scotland*. 133: 315-342.
- Naismith, Robert J. 1985. *Buildings of the Scottish Countryside*. Gollancz. London.

Wemyss, Charles. 2014. *Noble Houses of Scotland*. Prestel. London.

Zeune, Joachim. 1992. *The last Scottish castles: Investigations with particular reference to domestic architecture from the 15th to the 17th century*. Serie Internationale Archaologie. Publicado por Verlag Marie L. Leidorf.