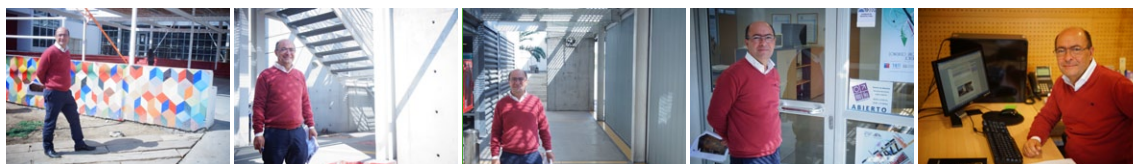




Figura 0 Levantamiento 3D nube de puntos iglesia de Peine noviembre vista exterior e interior de la nave central. Fuente: Laboratorio CILET 3D Escuela de Arquitectura 2012, abril 2014



Secuencia: Recorrido iniciado en el acceso a la Escuela de Arquitectura de la UCN y concluido en la oficina de Dirección.
Fotos: José Caquisane Yáñez

ARQUITECTURA VERNÁCULA Y TECNOLOGÍA: De la piedra a la nube de puntos, templo nuevo de San Roque de Peine, Salar de Atacama, Chile¹

VERNACULAR ARCHITECTURE AND TECHNOLOGY: FROM STONE TO POINT CLOUDS, THE NEW SAN ROQUE DE PEINE CHURCH, SALAR DE ATACAMA, CHILE.¹

Sergio Alfaro Malatesta², Gino Pérez Lancellotti³, Benjamín García Gallardo⁴, Monica Serrano Velásquez⁵

RESUMEN

Este artículo expone la necesidad del uso de tecnologías convergentes que permitan el trabajo de conservación del Patrimonio Arquitectónico Vernáculo, generada por la utilización materiales no industrializados y naturales, para su construcción y el uso de procesos basados en técnicas constructivas sostenidas en la experiencia y la tradición oral de sus constructores. La preservación de estos Legados Patrimoniales y Bienes Culturales; requiere de su conservación material más allá de la durabilidad del ciclo de vida natural de sus materiales y condiciones funcionales; a fin de superar exigencias del medioambiente.

El diagnóstico de conservación material de un inmueble demanda una serie de niveles de información capaces de definir una estrategia de intervención que restablezca condiciones funcionales, estructurales y estéticas.

Desde esta perspectiva, es necesario realizar el registro de todas las características físicas y materiales con la mayor fidelidad.

Para obtener una evaluación sistemática es necesario basarse en un levantamiento crítico a partir del reconocimiento directo del edificio. Hoy es posible incorporar herramientas digitales cuyas tecnologías están diseñadas para obtener lecturas detalladas y fidedignas de cada una de las partes y elementos del edificio. La interface entre el edificio y el ordenador es aquí definida como una nube de puntos 3D.

Palabras Claves: **arquitectura vernacula, asentamientos rurales, autoconstruccion, nuevas tecnologias, laser.**

ABSTRACT

This article states the need for the use of converging technologies in order to make possible conservation work on vernacular architectural patrimony, which is necessary due to the use of non-industrial and natural materials in construction and processes based on techniques derived from the builders' experience and oral traditions. The preservation of these patrimonial legacies and cultural assets requires their material conservation beyond the durability of the natural life cycle of the their building materials and operating conditions, in order to overcome the demanding environmental conditions.

The diagnosis of the physical preservation of a property requires a series of layers of information that make it possible to define an intervention strategy to restore functional, structural, and aesthetic conditions. From this perspective, it is necessary to register all the physical and material features with the highest possible accuracy. To obtain a systematic evaluation, it is necessary to rely on a critical survey based on direct observation of the building. At present, it is possible to incorporate the use of digital tools designed to obtain detailed and accurate readings of each of the parts and elements of the building. The interface between the building and the computer is defined here as a 3D point cloud.

Keywords: vernacular architecture, rural settlements, self-build, new technologies, laser.

Artículo recibido el 30 de junio y aceptado el 30 de octubre de 2014

[1] Artículo basado en los resultados de investigación financiada por proyecto FONDEQUIP AQ-41 de Conicyt, FIC R 2011.

[2] Escuela de Arquitectura, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile. salfaro@ucn.cl

[3] Escuela de Arquitectura, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile. gperez@ucn.cl

[4] Fundación Altiplano, Arica, Chile. benja.edu@gmail.com

[5] monserrano@gmail.com

INTRODUCCIÓN - LA IGLESIA DE SAN ROQUE DE PEINE

Hoy existe una creciente preocupación en el mundo académico, profesional y en las comunidades, del deterioro y a veces, pérdida irremediable del Patrimonio de la Región. A factores como acción del medio ambiente, abandono, falta de mantención, crecimiento explosivo de actividades como aquellas ligadas a la minería y a veces por la acción irresponsable de terceros.

Para dar respuesta a estas problemáticas, la Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica del Norte, en su compromiso de responsabilidad social, ha desarrollado una política de vinculación con el medio, promoviendo en las Comunidades del Salar de Atacama la implementación en sus planes de desarrollo asistencias técnicas y asesorías.

Este trabajo se centra en el registro a nivel regional- en la línea de Turismo de intereses especiales contenida en la Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020-, de la localización de sitios de interés arqueológico, edificios Patrimoniales, etc. Este registro, ayuda a la elaboración de políticas de Planificación Territorial, pudiendo ser aprovechadas por los Servicios Públicos e Instituciones que se preocupan del Rescate y Preservación del Patrimonio.

La iglesia de San Roque se ubica en el poblado de Peine, perteneciente a la comuna de San Pedro de Atacama, depende administrativamente de la prelatura de Calama y es administrada por la organización "Acción Católica". La Capilla San Roque de Peine "fue construida hacia 1750 con una torre campanario de piedra y reconstruida en 1940"., (Games y Games 2009:143) Otra descripción relativa a precisar el origen del templo nuevo de Peine señala: "Montandón ha estimado el traslado de la capilla y el pueblo en la primera mitad del siglo XVII, mientras que estima que la actual estructura dedicado a San Roque, corresponde a la segunda mitad del siglo XVII" (Núñez, González y Galeno, 2010:53).

Gracias a la restauración de 1940, el templo conserva su aspecto original: una nave central rectangular, a la cual se



Figura 1 y 2 muestra visita Red ARCOT al poblado de Peine², noviembre de 2013. Fuente S. Alfaro, marzo 2014



Figura 3 muestra intervenciones indebidas en el conjunto atrial. Fuente S. Alfaro, marzo 2014



Figura 4 muestra exterior colapso de techumbre de la zona central de la nave del templo. Fuente S. Alfaro, marzo 2014



Figura 5 muestra interior colapso de techumbre de la zona central de la nave del templo. Fuente S. Alfaro, marzo 2014



Figura 6 zona de fractura de la estructura de techumbre. Fuente S. Alfaro, junio 2014

le adosa un pequeño espacio destinado a la capilla lateral, y una techumbre a dos aguas que responde al patrón tradicional atacameño. "El campanario se encuentra adosado a la nave y posee dos cuerpos coronados por una pirámide de base cuadrada en cuya cúspide se levanta una cruz de piedra". (Games y Games, 2009:143)

DETECCIÓN DE ANOMALÍAS ESTRUCTURALES

En el 2011 la Escuela de Arquitectura alertó a la comunidad del deterioro progresivo de la estructura de techumbre y muros, que a través de la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo Tecnológico, la Escuela de Arquitectura realiza un Levantamiento Arquitectónico completo con tecnología Laser 3D, que permitió recabar la información de los elementos constructivos y estructurales. En noviembre de 2013, a raíz de la quinta reunión de la RED ARCOT⁶, se hizo una visita con especialistas de Arquitectura en Tierra, oportunidad en la que se entrega a la Comunidad indicaciones de apuntalamiento, a fin de evitar entre otros avances en el desplome de la techumbre. Junto a esto, la directiva de la Acción Católica de Peine, envía una carta al Prelado de Calama con copia a la Municipalidad de San Pedro de Atacama, informando del deterioro y solicitando antecedentes al Consejo de Monumentos Nacionales respecto a la condición de resguardo del edificio. Estas acciones preventivas no pudieron oportunamente ser implementadas por la comunidad, produciéndose posteriormente el desplome de parte de la techumbre de la Iglesia.

A mediados del 2014, la Comunidad Atacameña de Peine y la Acción Católica en conjunto con la Dirección de Obras de San Pedro de Atacama, solicita a la Fundación Altiplano hacerse parte de la evaluación y diagnóstico del estado de deterioro del edificio luego del colapso de su estructura de techumbre. Esta tarea fue abordada por el Constructor Civil, Benjamín García, autor del informe denominado "Estado de conservación⁸ Iglesia San Roque de Peine". (García, B. 2014:6)

[6] ARCOT, nombre de la Red de Arquitectura y Construcción en Tierra, constituida por 8 Escuelas y Facultades de Arquitectura de Chile y Fundación Jofré.

[7] Los Arquitectos Marcelo Cortés de la Fundación Jofré y el profesor José Luis Santelices de la Escuela de Arquitectura de la UCN, asesoran en materia de apuntalamiento al presidente de la Acción Católica de Peine, antes del colapso de la techumbre.

[8] Los textos que se han utilizado como referencia para describir e interpretar con precisión los daños y causas que afectan el templo nuevo de San Roque de Peine, corresponden a instituciones con gran experiencia en conservación histórica de construcciones patrimoniales de tierra: El Getty Institute, y su Getty Seismic Adobe Project (GSAP) y la Pontificia Universidad Católica de Perú (PUCP). La estructura metodológica de revisión y calificación patológica ha sido diseñada en base a éstas y otros referencias por FAMSU en su "Manual Básico de Restauración y Conservación de Construcciones Patrimoniales de Tierra y Piedra de Arica y Parinacota".



Figura 7 erosión por humedad en la base del muro. Fuente S. Alfaro, junio 2014/ Figura 8 desprendimiento total revoque en muro del Evangelio y evidencia de grietas pasantes en torno al vano. Fuente S. Alfaro, junio 2014/ Figura 9 grieta en unidad lítica de mampostería en muro del Evangelio sobre vano existente. Fuente S. Alfaro, junio 2014

COLAPSO DE LA ESTRUCTURA DE TECHUMBRE

El colapso, según el informe de Fundación Altiplano se define como el “Derrumbe parcial o total de paramentos, cubiertas y otros componentes constructivos” (García, B. 2014:6), en el caso específico se menciona en esta condición: Colapso techumbre en zona central de la nave del templo. Extensión 6,10 m y el colapso de la coronación de muro del evangelio relacionado con colapso de la techumbre. La Intensidad de los daños, se fundamenta según la clasificación planteada por el ingeniero Daniel Torrevalva, de la PUCP. Se indica en el informe que el concepto de “Daño de emergencia se define como la presencia de al menos un colapso parcial, restauraciones integrales con probables desmontajes, restituciones parciales o totales y reforzamiento estructural” (García, B. 2014:6) “De acuerdo a la evaluación de daños y sus causas, se confirma que las patologías persistentes en el templo nuevo de San Roque de Peine, son diversas y de impredecible evolución. Se han identificado colapsos y el asentamiento progresivo de las fundaciones que derivan en daños de emergencia. El edificio, de otra parte, está afectado por, desaplomes sectoriales, desplazamientos en el encuentro entre muros y cubiertas, grietas pasantes en el lado del evangelio y sacristía, erosiones incisivas en las bases exteriores e interiores de los muros, sedimentaciones extendidas en paramentos del templo que configuran un escenario de daños graves.” (García, B. 2014:6)

EL REGISTRO MEDIANTE TECNOLOGÍA DE LASERGRAMETRÍA

El concepto de Lasergrametría proviene de las investigaciones realizadas por la Facultad de Ingeniería del Instituto INSA de la Universidad de Strasburgo, por el Profesor Pierre Grussenmeyer. En el año 2010, la Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica del Norte, se adjudicó un proyecto de equipamiento científico y tecnológico, a través de CONICYT FIC R, en la línea de “Turismo de Intereses especiales”. El proyecto consistió en la adquisición de un escáner laser 3D y un sistema de información geográfica. Esto dio origen a la implementación de un laboratorio denominado CILET 3D (Centro de Investigación en Lasergrametría y estudios territoriales en tres dimensiones).

Esta tecnología, asociada a la captura de información, se utiliza para el levantamiento en tres dimensiones de estructuras físicas de alta complejidad, y permite un registro preciso de los edificios a fin de ubicar las patologías que comprometen las estructuras que acusan algún deterioro o deformación.

Realizar un registro de estas características de forma periódica permite hacer comparaciones y tomar decisiones y medidas de mitigación y puesta en valor como protección, restauración, etc. Este método de registro y análisis, es parte de una línea de investigación de la Escuela, y que presta apoyo a las comunidades como el caso de Peine.

La primera etapa del trabajo se realiza en terreno, con un equipo de dos arquitectos y un experto en manejo de escáner láser 3D. Posteriormente, se trabaja en el laboratorio de Lasermetría, realizando el calce de las tomas. El producto final de este trabajo, se traduce en un registro del estado estructural de cubierta y muros.

LEVANTAMIENTO Y NUBE DE PUNTOS CON ESCÁNER LÁSER 3D

En este caso en particular, el trabajo se centró en el edificio y se calibró el escáner para distancias más cortas, aumentando el registro de detalles. Este trabajo que dio como resultados la obtención de una nube de puntos, que posteriormente fue traspasada a diversos programas de dibujo para su análisis.

Se procedió primero a tomar fotos de alta resolución de la Iglesia para el registro, posteriormente se planificaron las “tomas o tiros” y la ubicación de las esferas y/o target, los cuales sirven de referencia para que el programa “Scene” que realiza el ajuste de las vistas lo haga automáticamente basándose en su posición. Se calibra el escáner según tiempo versus resolución del barrido, ajustando los ángulos.

La planificación comprendió siete tomas tanto del exterior como del interior de la Iglesia. El trabajo de registro se realizó con una salida a terreno de un total de 6



Figura 10 evidencia del empuje de los pares sobre el coronamiento del muro del Evangelio. Fuente S. Alfaro, junio 2014 /
Figura 11 desplome en muro del Evangelio, encuentro con cuerpo perpendicular a la nave. Fuente S. Alfaro, marzo 2014

horas. Las tomas se concentraron principalmente en las fachadas más deterioradas y del interior con la techumbre derrumbada. Se registraron las vigas existentes y cielos interiores. El principal objetivo de esta etapa fue complementar el diagnóstico que estaba realizando la Fundación Altiplano para la recuperación de la Iglesia.

Una vista exterior de la fachada poniente, donde se puede apreciar el sector de colapso de la techumbre en área central de la nave de la iglesia. Se observa también el desplome y deterioro de los muros laterales, el mayor daño lo presenta el muro oriente con grietas de corte originados por esfuerzos perpendiculares en la zona superior del muro producto del empuje lateral de la techumbre sobre el eje longitudinal del muro oriente.

DETECCIÓN DE DAÑOS CON EL SISTEMA LÁSER 3D

Una vista desde el interior hacia la zona del alta, muestra el colapso de la techumbre por acción del debilitamiento de muros y sobre carga de la torta de barro. Se decide la posibilidad de recuperar las tablillas de madera de cactus y piezas de chañar que cayeron al suelo. Se propone tomar las medidas de apuntalamiento de los restos de la estructura existente, ya que existe el riesgo de derrumbe de la cubierta que aún no ha caído. Si vemos la zona superior del muro oriente, se aprecia el colapso y debilitamiento del coronamiento del muro sobre la línea superior del dintel en ventana oriente, aquí se observa el efecto del empuje lateral de la techumbre sobre el muro, cuyo desplome supera los cinco grados.

En la zona del muro oriente, se aprecian daños por efecto de humedecimiento de la base, debido a que no

existe ningún tipo de sistema de drenaje que permita la evacuación de las aguas que se acumulan en el exterior. En este sector la superficie muestra un alto grado de permeabilidad, situación que facilita la infiltración de aguas superficiales sobre la estructura basal del muro y el piso interior de la iglesia. Se recomienda el diseño y construcción de obras de impermeabilización y drenaje exteriores del perímetro antes de iniciar cualquier operación de reconstrucción.

Ya que se contaba con un primer levantamiento 3D realizado en noviembre del año 2012, fue posible advertir las patologías que afectan las condiciones estructurales de la Iglesia.

Esto permitió comparar posteriormente los efectos del derrumbe y reconstruir milimétricamente el dibujo a su estado original. Los registros obtenidos en el levantamiento desarrollados en el Laboratorio 3D fueron complementando las diversas vistas y "tiros" registrados por el escáner láser.

TRABAJO EN LABORATORIO

Este trabajo de registro de datos demora dos semanas, allí se realiza el calce de las tomas mediante los programas "Scene" y "Constructor". Como resultado, se obtiene la nube de puntos de la estructura, que permite obtener las diferentes imágenes y puntos de vista, pero también de los acercamientos a los elementos y detalles constructivos escaneados. Dichos trabajos corresponden a la representación gráfica de los edificios escaneados.⁹ (Corso y Biere, 2009).

[9] Esta metodología que se utiliza en laboratorio se basa en la colaboración de varios institutos de investigación y el enfoque que realiza Juan Corso, quien va más allá en la interpretación de las nubes densas, llegando a generar aplicaciones a escala urbana, tal como lo señala el título de la investigación desarrollada en el MASTER EN GESTIÓN Y VALORIZACIÓN URBANA "Nuevas herramientas para el análisis urbano, clasificación, segmentación, reconocimiento y mapeo de modelos de puntos densos".



Figura 12 Colocación de esferas y ajuste de tomas en interior y exterior de la Iglesia. Fuente: Laboratorio CILET 3D Escuela de Arquitectura 2014



Figura 13 posicionamiento exterior del escáner en torno al volumen del edificio. Fuente: Laboratorio CILET 3D Escuela de Arquitectura 2014

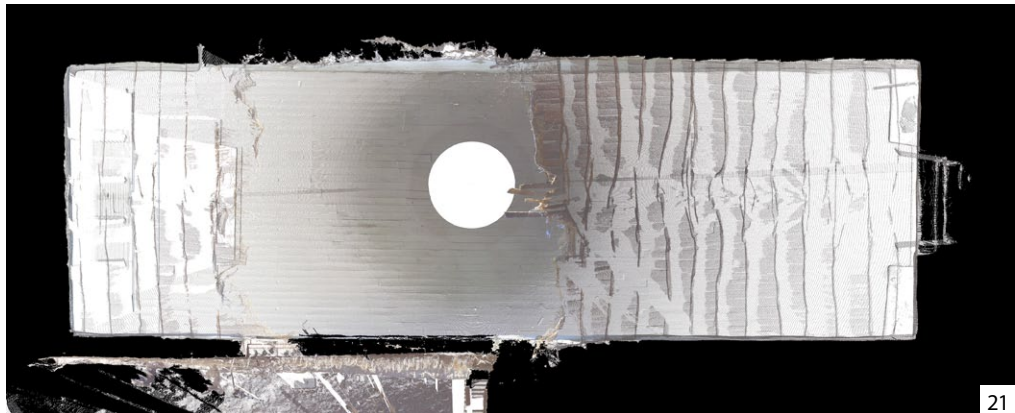
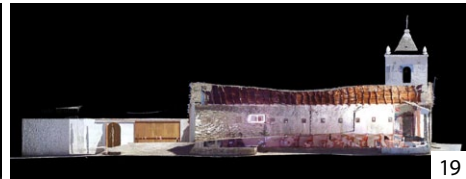


Figura 14 Registro fotográfico del momento en que se efectuó el levantamiento 3D, se compara el nivel de fidelidad entre el registro con nube de punto e imagen real del edificio colapsado. Fuente S. Alfaro, junio 2014 / Figura 15 Registro de daños en techumbre de Iglesia captura de "nube de puntos". Fuente: Laboratorio CILET 3D Escuela de Arquitectura 2012, abril 2014 / Figura 16 y 17 Levantamiento 3D nube de puntos iglesia de Peine noviembre vista exterior e interior de la nave central. Fuente: Laboratorio CILET 3D Escuela de Arquitectura 2012, abril 2014 / Figura 18, 19 y 20 Levantamiento y corte longitudinal de la nave central de la Iglesia. Fuente: Laboratorio CILET 3D Escuela de Arquitectura 2012, abril 2014

La nube de puntos puede ser cortada por planos horizontales o verticales (ver figuras n° 21 y 22), a partir de lo cual se generan secciones deseadas y precisas de los detalles de la estructura en todas las escalas. Gracias a lo anterior, fue posible realizar un diagnóstico de la deformación de los muros y cubiertas antes del colapso, calculando desviaciones, grados de inclinación, plomos, etc., y acotar sus dimensiones.

DIAGNÓSTICO Y CONCLUSIONES

Del diagnóstico se puede concluir que es posible establecer las causas principales de su colapso estructural que constituyen una evidencia del estado de este ejemplo de Arquitectura Vernácula. La pérdida de las condiciones de funcionalidad, formal y estructural del edificio, reflejan la acción sistémica del entorno, clima, naturaleza y características de los recursos materiales, sistemas constructivos y técnicas utilizadas por la comunidad.

Con respecto a los agentes naturales, la zona del salar de Atacama presenta regularmente una dinámica sísmica activa que afecta las estructuras arquitectónicas, sus evidencias en la fábrica del templo se observan en el área del evangelio y en el colapso de la techumbre. El nivel de vulnerabilidad existente es latente.

En relación a los agentes Erosivos Abióticos, las constantes lluvias del invierno altiplánico y las características del suelo rocoso expone las edificaciones a erosiones por humedad, siendo un importante factor de deterioro, patologías en muros y cubierta, pérdida de estucos, revoques y encalados. En la cubierta, la torta impermeabilizante se ha desgastado evitando evacuar eficientemente las lluvias.

Una de las mayores características de la Arquitectura Vernácula, es la relación natural y cotidiana de la comunidad en el manejo y aplicación de técnicas constructivas, basadas en una aproximación empírica y en la tradición utilizando la prueba y error como método de aproximación, con lo cual es posible detectar fallas en las soluciones y diseño, las que se relacionan como superposiciones de diversos momentos constructivos del conjunto religioso.

Otro aspecto deficitario que provocó el posterior colapso de la estructura, se debió a la deficiente calidad de sus materiales, gran parte de los cuales fueron reutilizados en los sucesivos procesos constructivos que evidencia el complejo religioso en los últimos años, su implicancia en la vulnerabilidad se resalta en los detalles específicos. Otro factor concomitante consistió en la serie de Intervenciones inadecuadas realizadas a lo largo del tiempo. Pese a la preocupación de la comunidad, no existe una política permanente de conservación y salvaguarda de parte de instituciones como el Estado o el gobierno local para con este patrimonio.

Con el levantamiento se obtuvieron datos relevantes como, tamaños de cada uno de los elementos, estructurales, arquitectónicos, que posibilitaran restituir los

niveles, dimensiones, alturas originales de todos estos elementos. El registro también arroja información sobre las deformaciones de muros, grados de inclinación y zonas específicas de derrumbe y desprendimientos interiores.

El levantamiento con escáner láser 3D, permitió analizar toda la estructura dañada, de tal modo que el reconocimiento visual registrados digitalmente permiten comparar su progresión en el tiempo, igualmente fue posible registrar las áreas más comprometidas de la Iglesia, muros laterales oriente, vigas de cubierta, y pavimentos. Y el evidente daño que se observa en la estructura de la techumbre, como se muestra en las imágenes del levantamiento de año 2012.

Por último, con la obtención de la nube de puntos, se obtuvo el registro y la información del estado actual de la Iglesia, las deformaciones de los muros y pérdida de verticalidad, determinando con exactitud sus grados de desaplome, análisis que se desprende de los dibujos en corte obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

CORSO, JUAN MANUEL, BIERE, ROLANDO "Nuevas herramientas para el análisis urbano, clasificación, segmentación, reconocimiento y mapeo de modelos de puntos densos". MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN Y VALORACIÓN URBANA Universidad Politécnica de Cataluña, 2009

ESCUELA DE ARQUITECTURA UCN: "Informe Levantamiento 3D Iglesia de San Roque de Peine", Laboratorio CILET 3D, noviembre 2012.

GAMES C, GAMES L.: "IGLESIAS ATACAMEÑAS DEL ALTIPLANO CHILENO", Ediciones Universidad Católica del Norte, 2009. Antofagasta Chile

GARCÍA, B.: Informe Técnico, "ESTADO DE CONSERVACIÓN IGLESIA SAN ROQUE DE PEINE", Fundación Altiplano, 2014.

HEISEN C., PEREIRA M., MAINO J., CAICEDO, R.: "MANUAL BÁSICO DE RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE CONSTRUCCIONES PATRIMONIALES DE TIERRA Y PIEDRA DE ARICA Y PARINACOTA", Ediciones Fundación Altiplano, Arica, Chile, 2012

NÚÑEZ L, GONZÁLEZ J, GALENO C. : "RESCATE DEL PATRIMONIO MATERIAL MÁS ANTIGUO DE LA REGIÓN DELAS IGLESIAS PRECORDILLERANAS A LOS TEMPLOS URBANOS", Ediciones Universitarias Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile, 2010.

Revista: XYZ association francaise de topographie, n° 128, septiembre 2011- 3er Trimestre. 33ème année, ISSN 0290-9057,

Proceedings of the Getty Seismic, Adobe Project 2006 Colloquium, Getty Center, Los Angeles, April 11-13, 2006. Editors, Mary Hardy, Claudia Cancino, Gail Ostergren.