



HAL
open science

Réparation de l'église de San Pedro de Atacama

Solange Miranda Coletti, Aude Andry

► **To cite this version:**

Solange Miranda Coletti, Aude Andry. Réparation de l'église de San Pedro de Atacama. Architecture, aménagement de l'espace. 2020. dumas-03111590

HAL Id: dumas-03111590

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03111590v1>

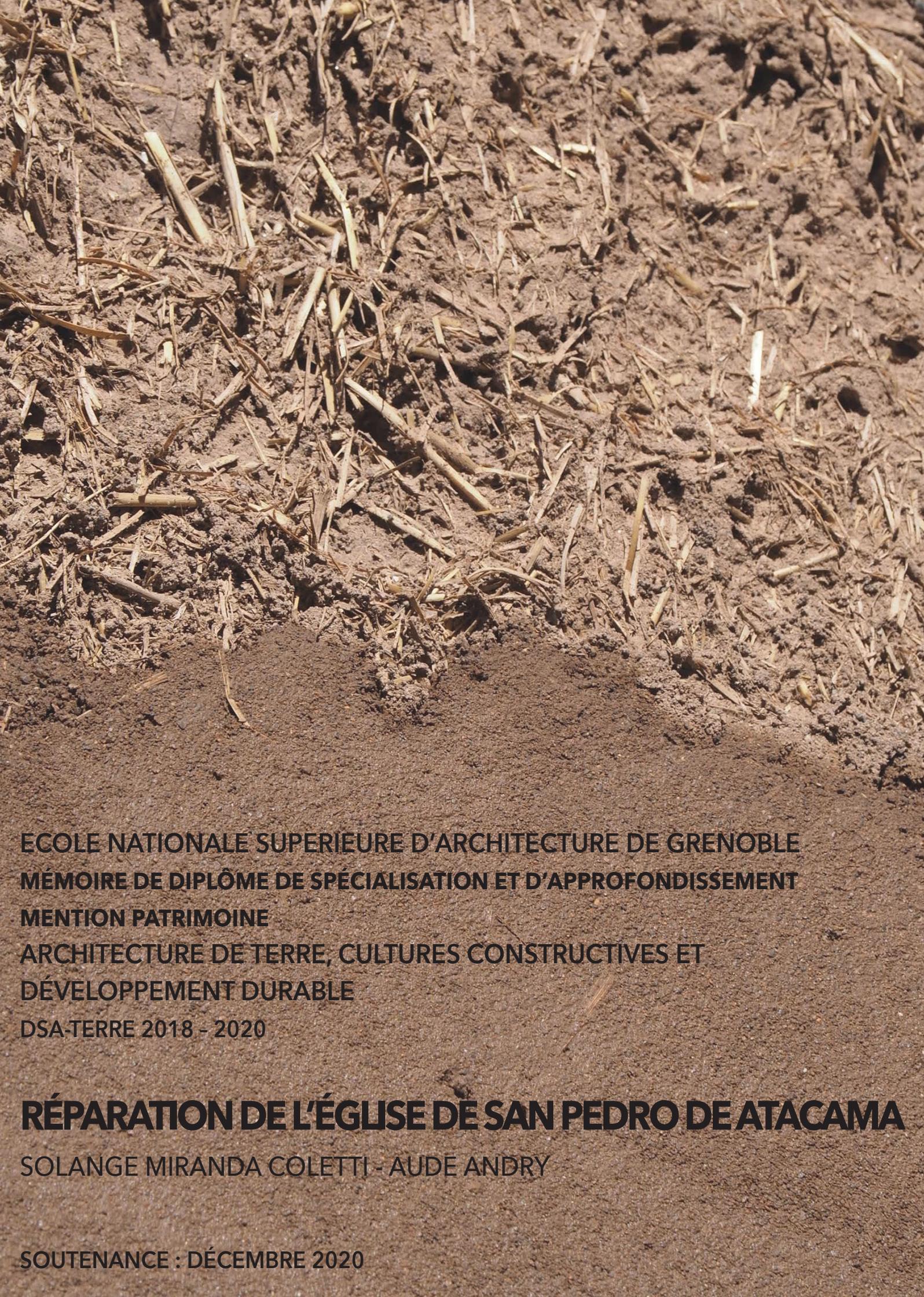
Submitted on 15 Jan 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE GRENOBLE
MÉMOIRE DE DIPLÔME DE SPÉCIALISATION ET D'APPROFONDISSEMENT
MENTION PATRIMOINE
ARCHITECTURE DE TERRE, CULTURES CONSTRUCTIVES ET
DÉVELOPPEMENT DURABLE
DSA-TERRE 2018 - 2020

RÉPARATION DE L'ÉGLISE DE SAN PEDRO DE ATACAMA
SOLANGE MIRANDA COLETTI - AUDE ANDRY

SOUTENANCE : DÉCEMBRE 2020

Mémoire de
Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement – Mention Patrimoine
Architecture de Terre, Cultures constructives et Développement durable

DSA-Terre 2018 – 2020



RÉPARATION DE L'ÉGLISE DE SAN PEDRO DE ATACAMA

Solange MIRANDA COLETTI - Aude ANDRY
Architectes

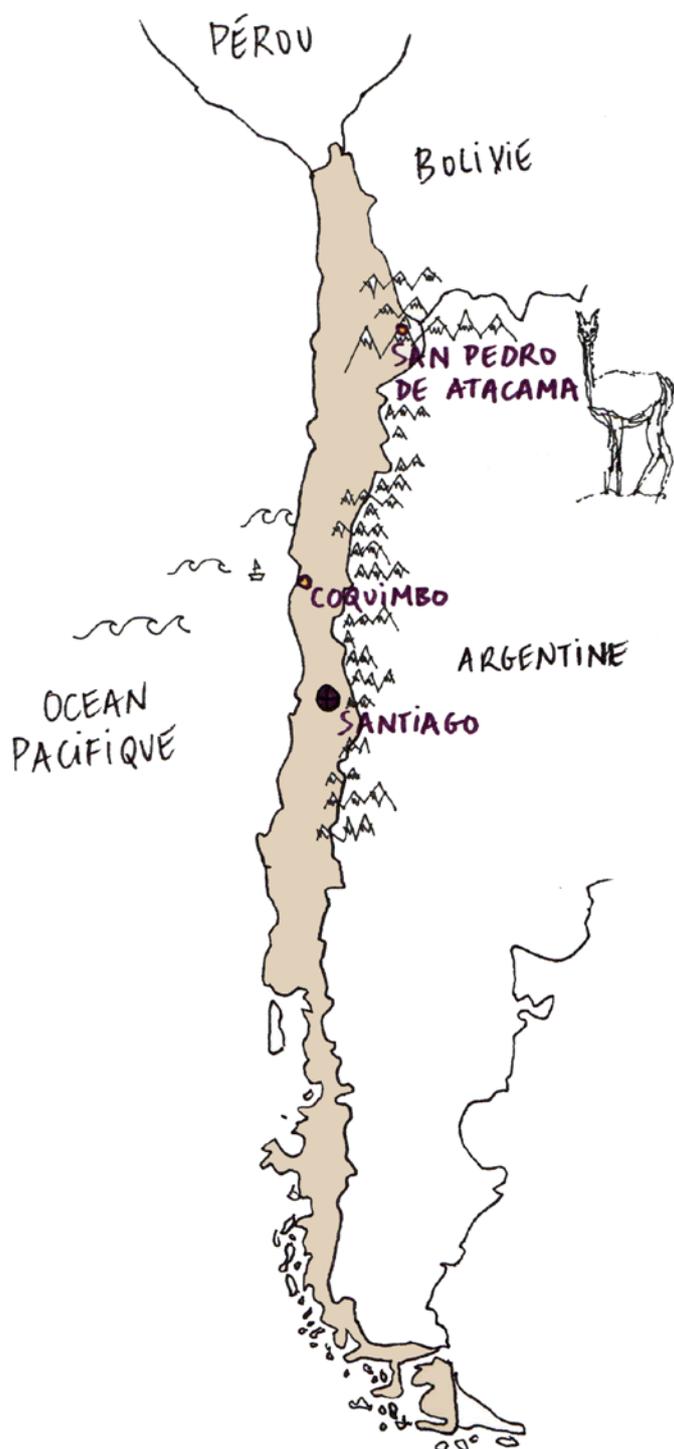
Soutenance : décembre 2020

COMPOSITION DU JURY

- GARNIER Philippe, architecte DPLG, CEAA-Terre, VT, chercheur au CRAterre-AE&CC-ENSAG-UGA
- GANDREAU David, archéologue, dipl. DPEA-Terre, docteur en architecture, chercheur au CRAterre-AE&CC-ENSAG-UGA
- JOFFROY Thierry, architecte DPLG, dipl. CEAA-Terre, HDR, chercheur ITA/BRAUP au CRAterre-AE&CC-ENSAG-UGA
- MAMA AWAL Halimatou, architecte DPLG, docteure, maître de conférences HCA, chercheuse au CRAterre-AE&CC-ENSAG-UGA
- RAKOTOMAMONJY Bakonirina, architecte DPLG, DPEA-Terre, enseignante contractuelle en TPCAUI, chercheuse au CRAterre-AE&CC-ENSAG-UGA

Sauf quand cela est indiqué, toutes les photos et images graphiques sont des auteurs,
Solange MIRANDA COLETTI et Aude ANDRY.

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION / | 7 |
| PARTIE I/ Patrimoine bâti et Chili | 11 |
| 1. Actualités, entre mouvements sociaux et crise sanitaire | 11 |
| 2. Contexte géographique et catastrophes naturelles | 14 |
| 3. Quelques repères historiques | 16 |
| 4. Techniques constructives présentes au Chili | 18 |
| 5. Coup d'oeil sur la politique locale envers son patrimoine | 23 |
| | |
| PARTIE II/ Une église dans le désert | 26 |
| 1. Contexte local : le désert d'Atacama | 26 |
| a. Appel d'offre | |
| b. Hiver Bolivien | |
| c. Cultures constructives | |
| d. Eglises du désert d'Atacama | |
| 2. Cas d'étude : l'église de San Pedro de Atacama | 35 |
| a. Le village de San Pedro | |
| b. L'église | |
| 3. Le début de l'aventure | 38 |
| a. Historique des restaurations | |
| b. Etat des lieux du bâti | |
| | |
| PARTIE III/ Les mains dans la terre | 49 |
| 1. Une fenêtre culturelle : le projet de réparation | 49 |
| a. Des communautés et des cultures | |
| b. Choix de la couleur | |
| c. Méthodologies de travail | |
| 2. Détails de chantier | 55 |
| a. Ressources | |
| b. Etapes de préparation | |
| c. Processus de réparation | |
| 3. L'après chantier | 65 |
| a. Ateliers | |
| b. Pluies et inauguration | |
| | |
| CONCLUSION / | 67 |
| | |
| GLOSSAIRE / | 71 |
| | |
| BIBLIOGRAPHIE / | 72 |
| | |
| ANNEXES / | |
| 1. Plans de l'église | 74 |
| 2. Plan de Mantenimiento y Conservacion | 76 |
| 3. Reunion Ciudadana n°2 | 92 |



Nous voudrions remercier les compagnons de route de ce projet, autour de l'église.
Alexandra JOO VILLABLANCA, Elda VÁSQUEZ BARAHONA, Monserrat VENEGAS, Ricardo PUES, Don Daniel, Julio ZULETA, Juan Ramiro, et toute l'équipe de MAS TIERRA.

INTRODUCTION /

L'aventure commence pendant la formation du DSA Architecture de Terre à l'ENSA de Grenoble, où nous faisons connaissance. Des intérêts communs, des projets qui se recoupent, une vision globale de la vie, nous réunissent au Chili en août 2019, au sein de l'entreprise de restauration - construction Mas Tierra, créée par Solange, à Coquimbo.

Cette année passée a été riche en émotions, de tous les côtés : comme architectes et ouvrières, nous avons eu la chance de faire beaucoup de projets très variés, entre restauration, réparation ponctuelle, construction neuve, ateliers participatifs ou conception. Des projets situés dans la région de Coquimbo, mais aussi à côté de Santiago, au Cajon Del Maipo, dans la campagne au Sud de la capitale, à La Estrella. Des territoires traversés par des mouvements terrestres fréquents, habituels pour les chiliens, connus sous le nom de *temblor* ou de *terremoto*, selon l'intensité du séisme. Les architectures locales en sont profondément imprégnées et des techniques de construction parasismiques ont été développées par les femmes et les hommes, avec le temps et l'expérience. Les différents projets que nous avons eu à charge nous ont permis d'étudier, d'expérimenter et de mettre en oeuvre ces techniques.

Depuis octobre 2019, de nombreux mouvements sociaux, témoignant du mécontentement de la population, ont éclaté au Chili pour réclamer davantage de justice économique et une politique moins élitiste. La crise sanitaire que l'on connaît, n'a fait qu'accentuer le malaise social actuel.

Depuis un an, nous nous situons dans un contexte social incertain, car pour nous deux aujourd'hui, le Chili est un pays auquel nous appartenons, et un pays auquel nous sommes également étrangères puisqu'on ne sait pas «comment continuer à développer les projets et trouver des opportunités en temps de crise», c'est là que nous rencontrons la première difficulté, la première et la plus importante problématique de notre travail aujourd'hui. Cependant, nous croyons fermement que la recherche sur les constructions en terre et sur les cultures constructives est ce vers quoi nous voulons nous tourner. L'avantage dans un pays comme le Chili, c'est que les règles sont souples et nous permettent de trouver des solutions un peu partout s'il on se concentre sur le sujet de la terre. Nous avons donc élargi notre cercle d'action à la conception, et sommes allées chercher des projets d'exécution plus loin que d'habitude.

Nous avons donc cherché un appel d'offre public auquel nous pourrions répondre, c'est comme ça que nous avons concouru à la réparation de l'église de San Pedro de Atacama, ouvrage religieux encore en usage et site très touristique, qui a subi des dommages importants à cause des pluies ponctuelles mais torrentielles connues dans la région. Nous avons eu la surprise de remporter cet appel d'offre. Ici nous avons découvert une autre problématique qui se pose que nous appelons «l'importance de reconnaître un territoire», un lieu, un temps, une température, la condition sociale, l'altitude, toutes ces conditions définissent pour nous un nouveau territoire, un nouveau lieu de prédilection, un lieu à apprivoiser.

C'est à San Pedro que nous avons identifié une autre difficulté, qui était le «facteur économique en rapport avec le développement du projet» en raison des coûts liés à l'exécution des travaux, à l'entretien de l'équipe (logement, nourriture), à la location de machines, à l'achat de matériel, etc. C'était une nouvelle problématique pour nous, puisque jusqu'à présent, pour les autres projets, le facteur économique était bien encadré et géré dans le cadre des devis. Mais à San Pedro de Atacama, les coûts sont plus de 40% plus élevés par rapport aux autres régions du Chili, pour plusieurs raisons.

D'une part, c'est une zone touristique. San Pedro est un village hautement touristique, ceci définit des coûts élevés d'hébergement notamment. Cet endroit présente une biodiversité liée à sa flore et sa faune qui attire une population flottante élevée à tout moment de l'année.

De plus, San Pedro est au milieu d'une zone minière. Dans le nord du Chili, on trouve le plus grand nombre de sociétés minières d'où s'extrait les ressources économiques les plus importantes du pays. Ces mines sont source de travail pour les habitants de ces villes, où ils reçoivent un revenu plus élevé que dans le reste du pays.

Cela signifie que le coût de la vie augmente dans ces villes et villages. Les «Leroy Merlin» locaux appliquent des prix spéciaux dans ces zones, ce qui multiplie les coûts d'achat ou de location de matériel par exemple.

Pour finir, San Pedro se situe dans une zone inhospitalière, loin des centres urbains. Le village est situé à plus de 100 km de la ville de Calama, la plus proche, et à 300 km de Antofagasta. Ces deux villes sont les plus grandes de la région, où il est possible de se fournir en matériaux et outils de construction. Par conséquent, tout mouvement doit être planifié et organisé car il est difficile et assez éprouvant de faire ce voyage qui traverse le désert.

Nous allons tenter de dresser le portrait de ce projet de réparation, mené au sein de l'entreprise MAS TIERRA, avec une équipe d'ouvriers de longue date, dans un contexte géographique exigeant, au milieu du désert d'Atacama. Notre regard est local et international, sous le même contexte d'Amérique Latine, mais aussi en tant que femmes, puisque nous sommes toutes deux actrices de ce projet. En essayant d'élaborer une exécution pertinente, le travail est réalisé par une équipe motivée, sans processus industrialisé, avec un budget limité. Finalement, le plus précieux se retrouve dans le bilan de nos expériences, des résultats accomplis et des rencontres faites sur le chemin. Et l'idée principale qui nous motive et nous porte, est d'essayer dans la mesure du possible de faire ce que l'on aime, de toujours apprendre avec une équipe unie.

Avant d'exécuter ce chantier, nous avons envie d'étudier les techniques constructives du pays par rapport aux séismes, mais nous ne savions pas très bien comment aborder le sujet. Nous nous sommes demandées quel matériau se comporte le mieux pendant un tremblement de terre, quel était le système constructif le plus présent sur le territoire, s'imaginant que les deux étaient très liés. Et surtout, voyant des constructions en terre, en bois, en béton, nous nous sommes demandées s'il y avait un endroit au Chili essentiellement construit en terre.

Et nous sommes arrivées dans le village de San Pedro, où nous avons pu alimenter nos réflexions, et en générer de nouvelles, notamment concernant l'entretien des bâtiments en terre dans une zone géographique traversée par des pluies chaque année.

Autour de ce projet de réparation de l'église de San Pedro, nous pouvons distinguer deux thèmes : les techniques de construction para-sismiques et l'étude du patrimoine en terre local. Bien qu'ayant travaillées en binôme, Solange, de part son expérience locale, s'est plus penchée sur les techniques constructives liées aux séismes, et Aude s'est plutôt intéressée au contexte historique et géographique de l'église. Travailler sur cette église nous a permis justement d'étudier ces deux entrées en matière, sans jamais les dissocier puisqu'elles s'imbriquent et se lient au fil de l'histoire jusqu'à aujourd'hui.

SOLANGE



Ma vision personnelle se concentre sur la référence de l'origine de sa construction, l'utilisation originale de l'église en fonction de sa capacité de charge, ses caractéristiques de construction pertinentes, l'histoire des interventions et, surtout, son état de conservation. C'est ici que commence l'enquête technique, qui se concentre sur l'analyse constructive, la définition du territoire comme élément fondamental, ses étapes et ses méthodologies d'intervention.

La façon dont l'Église répond à la vie dans une oasis, ses vallées et ses ruisseaux du Salar d'Atacama et de la rivière Loa, et la culture constructive de la ville, aide à comprendre le développement du matériau et de la technique d'adobe utilisée. De même que la réalisation d'un toit en terre, l'utilisation de matériaux locaux tels que les bois de cactus, d'algarrrobo et de chañar, dans le développement de ce projet. Autant d'éléments que nous pouvons correctement identifier comme caractéristiques techniques de l'architecture andine.

Dans le contexte de l'analyse parasismique, nous nous concentrons sur la norme chilienne 433, où nous devons décrire le système parasismique à utiliser, dans ce cas l'église est construite en adobe, avec une identification des paramètres utilisés, une analyse des fréquences fondamentales, des efforts de cisaillement dans chaque direction, des déformations maximales du bâtiment et son étage en mezzanine avec l'orgue. Nous avons reconnu des critères basés sur les performances structurelles lors des séismes passés dans la région, dont l'objectif est de contrôler le déplacement de la structure et l'apparition de fissures par des probables événements futurs. Grâce à des renforts avec une intervention minimale, compatibles et réversibles, on évite l'effondrement des éléments. La recherche technique de l'église nous a amenés à reconnaître ses principaux éléments et à comprendre leur comportement, nous pouvons affirmer que l'église de San Pedro a été un cas d'étude technique très complet.

AUDE

Comment, en tant que française, travaillant au Chili, je peux avoir des responsabilités sur un chantier si important pour le pays et ses habitants ?

Cette église de San Pedro de Atacama, c'était comme être un peu dans un rêve, avoir ce bâtiment pour nous seuls, du matin au soir, des les premières heures du jour. Au milieu de ce paysage incroyable, de terre, de volcans et de vigognes. Très sincèrement, il a fallu atterrir très vite de la surprise d'être sélectionné pour faire l'exécution du projet de réparation. Les aspects techniques et logistiques ont rapidement pris le dessus sur l'émerveillement et l'excitation à la vue de cette église, l'une des plus vieilles du Chili.

L'aspect patrimonial de l'église se retrouve dans son village, chez ses habitants, dans son histoire, mais aussi dans ses techniques constructives, qui sont autant de techniques et de matériaux ancestraux, qui font partie de l'histoire locale, transmise de génération en génération. Comme c'était le cas pour les peintures à la chaux, cérémonial répété chaque année pour entretenir le bâtiment, du temps de l'église drapée de blanc, avant 2015. Le patrimoine bâti est ici valorisé et respecté par les communautés locales.

Les connaissances techniques font partie du paysage, partout où l'on regarde à San Pedro et dans les villages aux alentours, on retrouve des constructions en terre, des monticules d'adobes et des artisans qui réparent leur maison. L'aspect technique et patrimonial se répètent sans cesse.

Au sein de l'église, patrimoine tangible et intangible se mélangent, entre l'importance de l'église pour les différentes communautés locales, son rôle de symbole et de liant social et ces techniques ancestrales qui se perpétuent grâce à ces bâtiments vieux de plus de 300 ans.

Pour appréhender l'aspect patrimonial de ce projet, nous avons effectué des travaux préalables, qui consiste à faire un diagnostic du bâtiment, à faire une recherche historique, à se documenter par les membres des communautés du village, à établir une ligne directrice de restauration du bâtiment. Nous avons décidé d'employer essentiellement les matériaux locaux et ceux utilisés par le passé sur cette église. C'est ainsi que nous nous sommes demandé s'il y a avait des cactus figues de barbarie auparavant à San Pedro, pour pouvoir faire le mélange de terre, ou comment la vie de l'église évoluait sans le poids touristique actuel du village.

La méthode choisie pour mener à bien notre travail sur l'église de San Pedro de Atacama, se base principalement sur l'étude de terrain, avec l'appui des autres chantiers auxquels nous avons participé, et les entretiens avec les professionnels de la construction en terre, ainsi que les autres acteurs rencontrés cette année.



PARTIE I / PATRIMOINE BÂTI ET CHILI

I. Actualités, entre mouvements sociaux et crise sanitaire

Le 7 octobre 2019, les lycéens et universitaires se sont organisés pour envahir massivement le métro de Santiago, en raison de l'augmentation du tarif du métro de Santiago de 30 pesos¹. D'abord dans la capitale puis dans tout le pays, des secteurs larges et divers de la population ont rejoint le mouvement pour exprimer leur fatigue et leur malaise de longue date face aux multiples situations d'injustice et d'inégalité qui durent depuis longtemps. Ainsi, on entend haut et fort ce slogan : «Ce n'est pas 30 pesos, c'est 30 ans!».

En seulement une semaine, les manifestations se sont intensifiées et la destruction du métro a commencé. Au vu des altercations et de la violence dans tout le pays, le président du Chili, Sebastián Piñera, a décrété l'état d'urgence, un couvre-feu et a fait intervenir les forces armées, outils instaurés pendant la dictature, inscrits dans la Constitution de 1980.

La hausse du prix du ticket de métro a finalement été annulée.

Malgré les mesures palliatives promues par le gouvernement, le 25 octobre 2020, les citoyens sont retournés au centre de la capitale, sur la Plaza Italia, avec la plus grande participation que le pays ait jamais connue. On parle d'au moins un million de personnes dans les rues de Santiago.

Le gouvernement et l'opposition se sont réunis (fait historique) pour organiser un vote au cours duquel les citoyens décideront s'ils veulent ou non une nouvelle Constitution. Celle-ci devait se tenir en avril 2020, mais à cause de la crise sanitaire, elle s'est tenue en octobre 2020, le résultat a été unanime : le Oui est sorti majoritaire.



«La plus grande marche de l'histoire», le 25 octobre 2019.
Photo : Rodrigo Chávez Schuffeneger

¹ Salaire minimum chilien = 350 euros (310 000 pesos chiliens), et 1 euro = 881 pesos chiliens.

Alors le président a reconnu qu'il y avait peut-être eu violation des protocoles sur le recours à la force par la police².

Au cours de ces manifestations, il y a eu de nombreux blessés et on dénombre 26 morts. De nombreux commerces ont été brûlés, ou sinon pillés. Malheureusement, cela montre la violence à laquelle les citoyens ont dû faire face, et l'ambiance traumatisante et chaotique très pesante qui a duré plus d'un mois. Le mot «*descontrol*» (manque de contrôle) représente bien l'état actuel.

Cette image des villes du Chili est très forte et va être difficile à oublier. D'un point de vue patrimonial, Les dommages causés au patrimoine bâti, à l'espace public, à la liberté d'expression et au développement personnel ont été affectés et fortement endommagés.

Après la crise sociale survenue en octobre 2019, nous avons fait face à la crise sanitaire produite par la COVID-19, sans aucune pause entre les deux, le scénario chilien s'est compliqué sans trêve depuis le 3 mars, date du premier cas positif de COVID-19 dans le pays. Il y a eu une série d'événements et de mesures, pour éviter, contenir ou réduire ses séquelles dans tous les domaines au niveau national, mais le pays, comme tant d'autres, s'est mis en pause depuis lors.

Le 14 mars 2020, en raison du manque de clarté dans la traçabilité des infections, le ministère de la Santé a déclaré la phase 3 de la pandémie. Cela signifie qu'il ne peut y avoir d'événements massifs de plus de 500 personnes, ni d'activités régulières, c'est-à-dire que le milieu du travail est directement touché, tous les travaux doivent alors être effectués à domicile.

Avec plus de 600 cas sur le territoire, le gouvernement décrète un couvre-feu de 22 heures à 5 heures du matin et les Chiliens ne peuvent quitter leur domicile qu'avec un sauf-conduit.

Le contexte sanitaire, produit de la pandémie a été lapidaire en Amérique et bien que le Chili ait un développement économique avantageux sur le continent, les citoyens chiliens ont également été fortement touchés. 7 mois se sont écoulés et nous travaillons toujours à domicile, sans activités sociales en face à face. L'État a proposé des nouvelles mesures pour soutenir la population, le retrait des fonds de pension, mais il est évident que nous n'avons pas tous les mêmes opportunités et pour beaucoup cette aide n'est pas suffisante. Très peu d'entreprises peuvent proposer le chômage partiel, comme en France. Les entreprises licencient, les travailleurs n'ont pas d'entrées d'argent, rentrent dans des réseaux économiques parallèles, où les mesures sanitaires ne sont pas ou peu respectées.



La ciudad como texto - expression libre sur les murs de Santiago - 2020

2 En novembre 2019, la Cour Interaméricaine des Droits de l'Homme a exigé des mesures de réparation et de justice pour les violences faites par les Carabineros (institution militaro-policière chilienne). Le gouvernement et l'armée chilienne ont ouvertement rejeté le rapport préparé par Amnesty International, qui enquête sur les violations de Droits de l'Homme.

Aujourd'hui, le Chili est toujours en proie à cette pandémie, avec les mêmes mesures restrictives.

D'un point de vue très pratique, ces restrictions affectent le milieu de travail, et les entreprises de construction sont très touchées. Pendant la crise sociale, qui est encore d'actualité surtout à Santiago, le problème majeur était de protéger les zones de chantier, des pillages et des dégradations. Pendant les manifestations d'octobre 2019, nous terminions le chantier de réparation de la Casa Las Palmeras, qui est au centre de La Serena, sur une avenue principale de la ville. Notre principale préoccupation était de terminer au plus vite pour pouvoir réceptionner le chantier, et ne plus craindre d'avoir les façades du bâtiment vandalisées. En fait, nous ne savions pas à quel point les dégâts pouvaient être importants.

Depuis le début de la crise sanitaire, nos préoccupations sont un peu différentes. En mars, nous avons arrêté toute activité, certains des ouvriers n'ont pas voulu prendre de risque, et sont rentrés chez eux. Rapidement mais progressivement, il a fallu reprendre les chantiers arrêtés en cours, Aujourd'hui, il s'agit de s'assurer que les chantiers vont bien avoir lieu, que les mesures sanitaires sont bien respectées par tous, et que personne ne soit pas en danger. Tous ces événements génèrent une logistique complexe et surtout très chronophage.

2. Contexte géographique et catastrophes naturelles

Le territoire chilien mesure 4329km du Nord au Sud et a une largeur moyenne de 180km d'Est en Ouest. Il est riche de paysages contrastés, de climats opposés, de cultures, de langues parlées entre autres. Il ne s'agit pas ici de dresser le portrait intégral de ce pays immense, mais de noter quelques-unes des caractéristiques naturelles très présentes sur le territoire.

C'est un sol bercés par des catastrophes naturelles de toute sorte : séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, inondations, glissement de terrain, incendies, sécheresse pour les plus connus. Aucune région chilienne n'a connu de répit concernant les catastrophes naturelles.



Carte des principaux aléas naturels depuis 2010 au Chili

Source : <https://www.minvu.cl/reconstruccion/>

On compte plus de 2 000 volcans au Chili, dont une centaine sont considérés comme actifs. Un volcan est qualifié d'actif lorsqu'il a enregistré une activité au cours des 10 000 dernières années. Tous ne constituent donc pas une menace pour la population. Actuellement, une dizaine de volcans sont en éruption au Chili.

La zone d'altitude de l'*Atiplano* chilien regroupe les volcans les plus hauts du monde, l'Ojos Del Salado est à plus de 6 890 m d'altitude. Des villages sont installés dans ces sommets, le village Parinacota par exemple est à 4 400 m d'altitude, à côté du lac Chungara. Un peu plus au Sud, à côté du village de San Pedro de Atacama, le volcan Lascar est très actif, avec 28 éruptions entre 1850 et 2013. La région des lacs et des volcans s'étend entre la capitale Santiago et la Patagonie, elle regroupe des volcans moins hauts, mais plus actifs qu'au Nord.

Régulièrement, le gouvernement annonce des alertes jaune, orange ou rouge en fonction des risques d'éruption volcanique.

Les incendies de forêt font aussi partie intégrante du quotidien des habitants, surtout dans les régions Centre-Sud. En 2019, plus de 15 000 hectares ont été détruits. La CONAF³ estime que ces feux sont provoqués par le changement climatique et la longue période de sécheresse endurée par le pays depuis une décennie.

Le ministre de l'agriculture a annoncé que le secteur de l'agriculture était très impacté par cette sécheresse historique, 100 000 chèvres n'auraient pas résisté aux conditions, dans les régions d'Atacama et de Coquimbo.

Au Nord du pays, le climat est très sec et désertique, avec une pluviométrie très faible. Cependant, une fois par an se produit l'hiver bolivien -*invierno altiplánico*-, phénomène qui amène des pluies orageuses très denses pendant un temps très court. Ces précipitations se produisent par l'interaction parfaite de différents facteurs pendant l'été (de janvier à mars). Des fortes températures provenant du Brésil, de l'Argentine, du Paraguay, se mélangent aux masses humides de la forêt

3 CONAF : La Corporación Nacional Forestal de Chile

amazonienne, et arrivent sur l'*altiplano* chilien provoquant des tempêtes et des précipitations. Les régions les plus affectées sont celles d'Arica et de Parinacota et le désert d'Atacama. En 2019, plus de 1 200 personnes ont dû être évacuées à cause de ces précipitations de 10 à 20 mm par jour, quand la moyenne annuelle est de 6 mm, qui entraînent des crues de rivières, des glissements de terrain, des routes détruites, et des inondations, sur un terrain très sec, presque imperméable à l'eau.

Le Chili est l'un des pays du monde qui connaît la plus forte activité sismique. En effet il est situé au carrefour de plusieurs plaques tectoniques.

D'une part, la plaque de Nazca qui passe peu à peu sous la plaque sud-Américaine. Et au Sud, la plaque d'Antarctique vient à l'encontre de la plaque sud-Américaine, formant en partie la ceinture de feu du Pacifique. Cette configuration géologique entraîne une forte activité sismique avec un risque élevé de tsunami.

Selon la culture Mapuche, les secousses sont la manifestation d'un déséquilibre cosmique. On remédie à ce désordre céleste par la pratique des offrandes et des rites à l'égard des dieux et des esprits d'antan.

Pendant la Conquête espagnole, l'activité sismique est intense. Depuis que nous avons des registres historiques, nous pouvons noter une activité terrestre incessante. En 1647, survient l'un des plus grands tremblements de terre que les registres coloniaux aient archivés. Santiago est en ruine.

Le 22 mai 1960, le tremblement est tel qu'il dévaste les provinces de Valdivia, Osorno et Chiloé. C'est le plus fort séisme enregistré avec une magnitude de 9,5 sur l'échelle de Richter. Il avait provoqué un tsunami dont les effets destructeurs ont été ressentis dans tout le Pacifique. En 1985, la zone centrale subit un tremblement de terre à son tour. En 2007, c'est la région de Aysen qui est dévastée par un séisme créant un effondrement de collines dans l'océan amenant un tsunami.

Plus récemment, en 2010 et en 2015, ont eu lieu deux des plus importants séismes de l'histoire du pays. Dans la nuit du 27 février 2010, un tremblement de terre d'une magnitude de 8,8 secoue le pays, surtout entre Concepcion et Santiago. Le bilan du séisme, de ses répliques et du tsunami qui l'accompagne est de 720 morts, et d'environ deux millions de sinistrés⁴.

Le séisme du 16 septembre 2015, de 8,3 sur l'échelle de Richter, recense des dégâts humains beaucoup moins importants, grâce notamment à l'alerte Tsunami lancée dans les temps (contrairement à 2010, où il y a eu un cafouillage meurtrier : il y a eu une alerte au tsunami, puis ensuite les autorités ont retiré l'alerte, les personnes ciblées sont donc restées sur place). Malgré tout, environ un million de personnes ont été évacuées et au moins 38 répliques de magnitude supérieures à 5 ont été enregistré. Un tsunami associé a frappé les côtes chiliennes, à Coquimbo, et s'est diffusé jusqu'au Japon.



Ville de Constitución, suite au tsunami du 27 février 2010, l'eau est montée jusqu'à 2m dans la ville.

4 Estimations par l'ONEMI - Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior

On compte un séisme de magnitude 8 tous les dix ans et de magnitude supérieure à 8,7 au moins une fois par siècle⁵.

Si les tremblements de terre se suivent les uns après les autres, avec des intervalles de temps relativement court, cela permettra à une génération de transmettre leur expérience à la génération suivante par écrit ou oralement (40-60 ans), la culture sismique locale sera alors transférée⁶. Chaque génération pourra ainsi renforcer l'apprentissage et la connaissance héritée des cultures antérieures, il consolidera la culture constructive sismique, les constructions et il développera la créativité dans la réalisation des réponses en amont des futurs événements telluriques.

3. Quelques repères historiques

Depuis les années 1900, avec l'industrialisation et la migration qui alimente les grandes villes du Chili, et par la crise du salpêtre entre 1920 et 1930, les villes commencent à croître rapidement et à l'intérieur de la ville en se densifiant dans les cœur d'îlots. Ces nouvelles constructions, construites avec le matériau terre, en adobes et techniques mixtes, travaillent comme un système communautaire où chaque bâtiment trouve sa stabilité en s'appuyant les uns sur les autres. Cette forme de densification des villes a ensuite été remplacée par des immeubles de grande hauteur, qui règnent maintenant dans la ville. Le marché immobilier est l'ennemi principal de la construction en terre en milieu urbain, où les terrains sont très convoités et présentent une énorme rentabilité commerciale⁷.

La prolifération des immeubles à la place des anciennes maisons en adobe brise la stratégie sismique urbaine qui était d'agir ensemble pour se soutenir face aux mouvements telluriques⁸. Les interventions dans le bâti ancien fragilisent celui-ci et le rendent plus vulnérable aux séismes.

Cette situation est encore aggravée par l'excavation de parkings souterrains sous ces constructions, qui fragilise les sols pendant les étapes de chantier par les vibrations mais aussi finalement, ne laissant qu'un espace « vide » incapable de résister aux mouvements terrestres.

Dans le pays, nous pouvons trouver une variété de techniques de construction avec la terre qui se répartit en deux familles : les structures porteuses en bois, ou en acier dans les constructions contemporaines, comme dans les travaux de Marcelo Cortes, et les structures porteuses en terre.

Les structures porteuses en bois sont largement reconnues comme des systèmes résistants aux tremblements de terre.

Le transfert des charges de la toiture et des planchers sur les poteaux porteurs offre une plus grande sécurité dans les régions menacées de tremblement de terre⁹. La terre est utilisée comme matériau de remplissage et ajoute de la rigidité.

Quincha bois, *quincha* métallique, *pandereta de adobe* (adobe positionné verticalement), *adobillo* (petits adobes qui s'emboîtent), sont autant de techniques à structure porteuse en bois ou en métal, d'exécution rapide.

La terre porteuse est sujet à un manque d'information générale, ou pire de désinformation. L'adobe, massivement présent sur le territoire, est très utilisé pour des monuments massifs comme des églises mais aussi pour différentes typologies d'habitat.

5 CSN, Centro Sismologico Nacional, Universidad de Chile, 2019.

6 FERRIGNI, F., HELLY, B., MAURO, A., et al., *Ancient Buildings and Earthquakes. The Local Seismic Culture approach: principles, methods, potentialities*. Bari : Edipuglia, 2005

7 JORQUERA, Natalia. *El uso de la tierra en ámbito urbano y sísmico. El caso de la arquitectura tradicional de Santiago de Chile*. 2do ENACOT, 2016. Santiago: Universidad de Santiago de Chile, 2016.

8 RIVERA VIDAL Amanda, *El Adobe. Culture sismique chilienne, étude de cas : le "Norte Chico"*. *Architecture, aménagement de l'espace*. 2016.

9 VOLHARD, Franz, *Construire en Terre Allégée*, Actes Sud, 2016.

Malgré le nombre de bâti en adobe dans le pays, le dénigrement de cette technique a commencé avec l'apparition de matériaux industrialisés, et avec eux, des normes du secteur économique dictées par le pouvoir des cimenteries du pays.

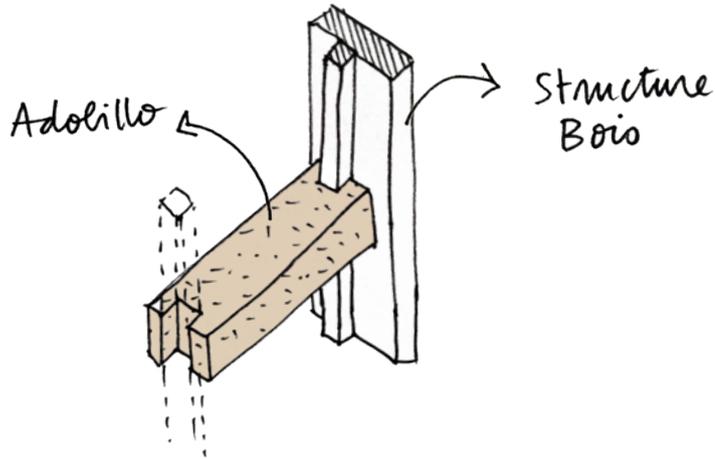
Aujourd'hui, il est impossible de faire assurer sa maison en adobe, alors il existe des chemins détournés pour assurer son logement, en considérant que la structure porteuse est en bois. Dans ce cas, cela fonctionne. Mais le chemin est encore long pour favoriser la création de plus de logements en terre neufs. En effet, il existe suffisamment de normes concernant les modifications, restaurations, réparations pour les bâtiments en terre existants, mais il n'en existe pas encore pour les constructions neuves.

On estime, selon l'inventaire des biens rédigé par le département d'architecture du ministère des travaux publics (DA-MOP), que près de 40% des bâtiments existants sont construits dans des techniques utilisant la terre crue, prédominent l'adobe et les techniques mixtes bois-terre, comme la *quincha* et l'*adobillo*¹⁰.

10 CONTRERAS, BAHAMONDEZ, HURTADO, VARGAS ET JORQUERA, *La arquitectura en tierra frente al sismo : conclusiones y reflexiones tras el sismo en Chile del 27 de febrero de 2010*, 2011.

4. Techniques constructives présentes au Chili

L'*adobillo* est un système constructif mixte de terre et bois, qui se développe au Chili dans la première moitié du XX^e siècle, surtout à Valparaiso, ville portuaire, quasiment entièrement construite avec cette technique, et revêtu de plaques de tôles colorées. Concrètement, c'est un bloc de terre crue façonné dans un moule pour s'imbriquer dans une structure porteuse en bois. Les *adobillos* forment la structure de remplissage, qui confère stabilité et contreventement à l'ensemble. La taille standard, de 10 cm de large x 50 cm de long x 10 cm d'épaisseur, peut varier sans aller dans des dimensions beaucoup plus importantes. Par contre, pour s'adapter à des structures en bois plus étroites, la brique peut être fabriquée plus courte.

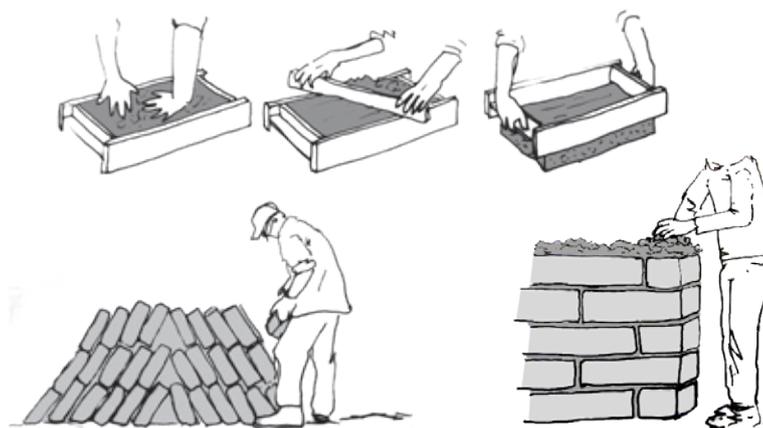


Adobillos dans l'église San Pedro / Coquimbo.



Une partie des murs du Musée Gabriel Gonzales Videla de la Serena est d'adobillos, l'autre étant en adobes.

La technique de l'*adobe* consiste à mouler sans compactage des briques de terre crue et à les laisser sécher au soleil¹¹. La brique n'est pas forcément parallélépipède, on en trouve de toutes les formes. Ici, au Chili, elles sont surtout rectangulaires, avec des dimensions variables. Dans la région de Coquimbo, on en trouve de 60 cm de long, 30 cm de large et 10 cm d'épaisseur, d'échelle humaine par rapport à ceux retrouvés à San Pedro qui sont de 1,20 m de long pour 60 cm de large. La maçonnerie des murs en adobes est celle qui se rapproche le plus d'une maçonnerie conventionnelle en blocs agglomérés. On utilise un mortier, du même mélange que pour faire les adobes. C'est le système constructif le plus utilisé sur le territoire chilien.



Casa Gabriela Mistral / Las Companias / La Serena



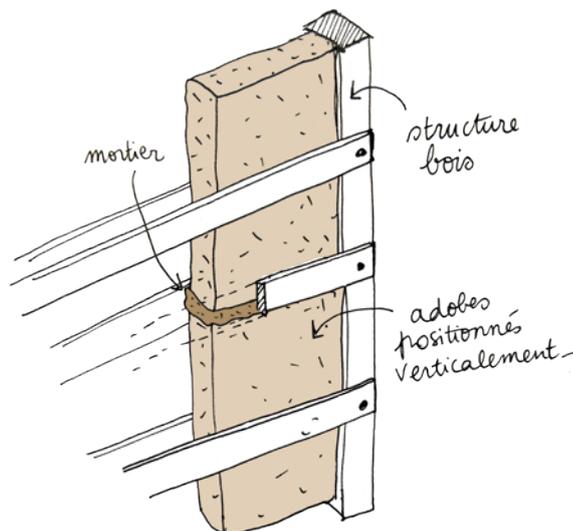
Colegio de Arquitectos / La Serena



Casa Chadwick / La Serena

11 Houben Hugo, Guillaud Hubert, *Traité de construction en terre*. 3e édition. Marseille : Éditions Parenthèses, 2006.

L'adobe parado est un système parasismique qui se présente sous la forme de blocs d'adobe dans une position verticale en utilisant la longueur soutenue sur sa face la plus fine, son épaisseur. Les adobes sont liés entre eux par un mortier du même mélange que les adobes. Ils sont comme enfermés dans une cage de bois, parfois structuré avec des diagonales du même bois ou avec des tendeurs qui sont chargés de soutenir le système en tissant des diagonales pour fixer la structure.



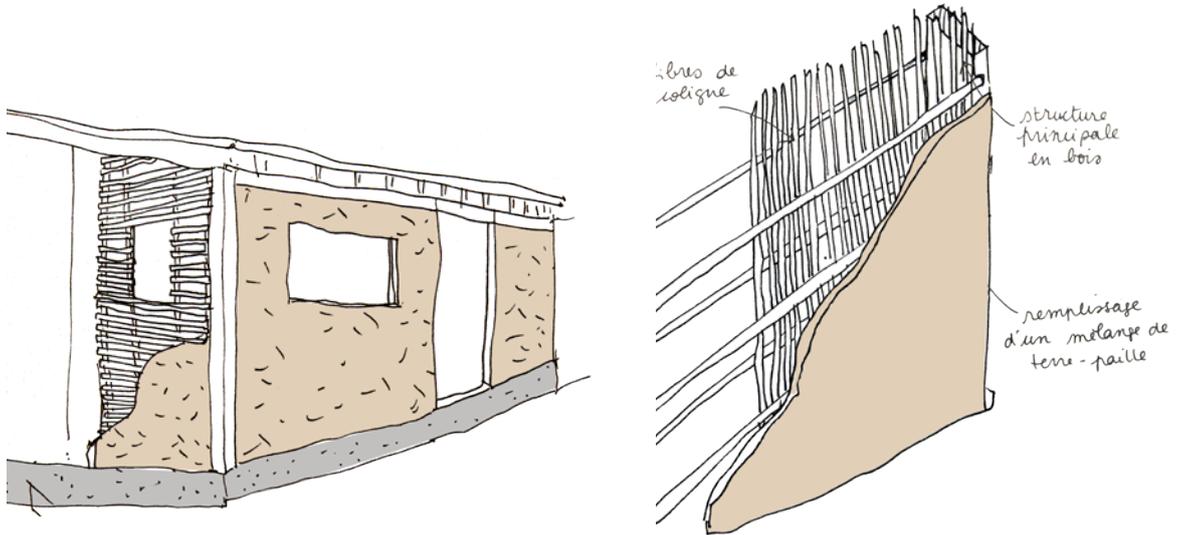
Casa Gabriela Mistral / Las Companias / La Serena



Casa Gabriela Mistral / Las Companias / La Serena



La *quincha* (torchis) est un système constructif mixte de terre et bois, ou métal très employé parce qu'il est rapide d'exécution et économique. Une structure en bois ou métallique dans les cas de constructions contemporaines, comme c'est le cas chez Marcelo Cortes, supporte un remplissage en terre. C'est une technique constructive reconnue comme parasismique sur le territoire. Le «squelette» de bois peut bouger sans se rompre, et dans le cas de dommages dûs à un seisme, il n'est pas rare de retrouver la structure intacte avec des morceaux de terre qui se seraient détachés.



Maison de torchis / Alcohuz



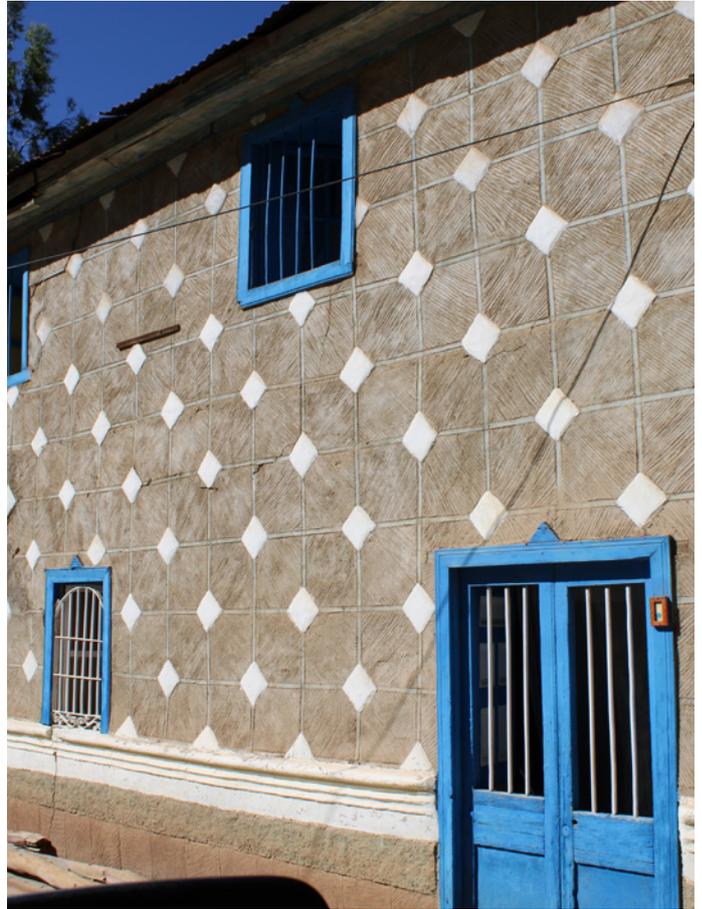
Remplissage avec un mélange terre-paille une structure bois / Coquimbo



Quincha dans l'église San Pedro / Coquimbo



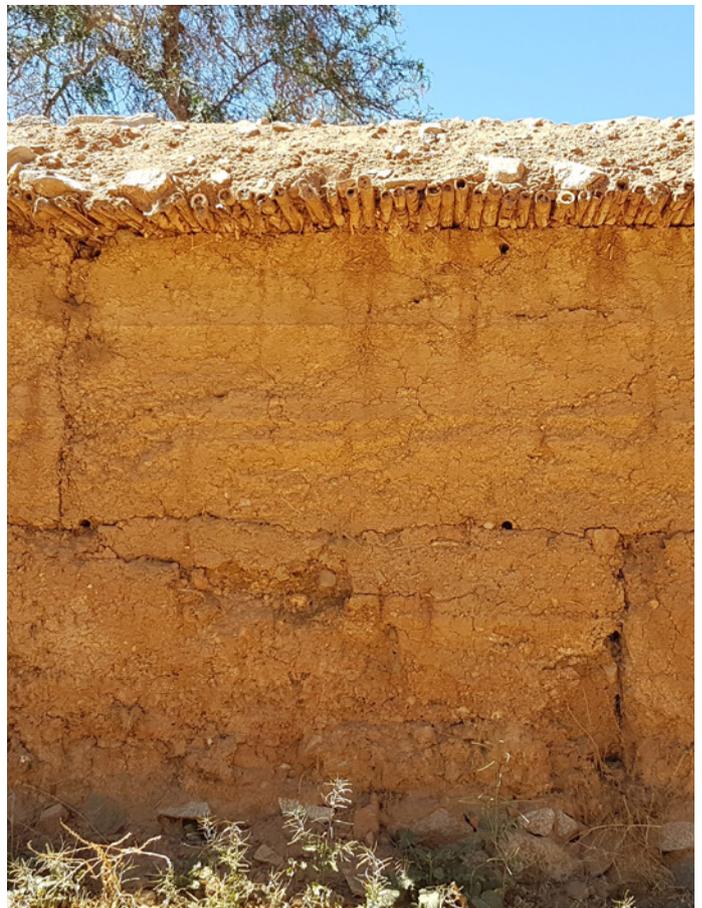
Maison d'habitation / Pisco Elqui



Maison d'habitation / Alcohuaz



Mur d'enclos / Horcon



Mur de délimitation de maisons / Tapial / Horcon

5. Éléments sur la politique locale envers son patrimoine

Suite à différentes catastrophes naturelles, déjà citées plus haut (séismes, tsunamis, etc.), sont nées des normes pour la réparation des bâtiments en terre. Différentes entités se chargent d'établir ces normes nationales, mais celle qui concerne la protection et de la défense du patrimoine national, autant matériel qu'immatériel, s'appelle « Consejo de Monumentos Nacionales » : Conseil des Monuments. Cet organisme existe depuis 1925, mais a été reformé en 1970 quand a été promulguée la loi des monuments nationaux. Le CMN est formé de plusieurs professionnels spécialisés dans le patrimoine, qui se réunissent deux fois par mois pour évaluer chaque demande. Pour qu'un bien culturel ou naturel devienne un Monument National, le CMN doit l'identifier et le déclarer comme tel.

Le catalogue des Monuments Nationaux organise le patrimoine en six catégories : Monument Historique, Monument Publique, Zones typique, Monuments Archéologiques, Sanctuaires de la Nature, Monuments Paléontologiques.

La zone typique est un groupement de biens bâti urbains ou ruraux, qui constituent une unité représentative de l'évolution de la communauté humaine, et qui se distinguent par leur unité stylistique, leur matérialité ou leurs techniques de construction.

La zone de conservation historique est un secteur identifié dans le cadre d'opérations d'aménagement du territoire constitués d'un ou plusieurs ensembles de bâtiments à valeur urbaine ou culturelle dont l'association génère des conditions à préserver.

Pour réaliser un projet de restauration ou de construction neuve dans ces zones de protection, une autorisation doit être demandée à l'organisme compétent. Pour cela, il y a quatre réglementations édifiées par le gouvernement :

- La loi des Monuments Nationaux : c'est la loi qui régit le « Consejo de Monumentos », sa mission est de protéger le patrimoine à travers les zones typiques et les Monuments historiques.
- L'Ordonnance Général dont le rôle est de protéger les zones de conservation historique, et son application est sous la responsabilité du Ministère National de l'Habitat et de l'Urbanisme.
- La norme technique 002, du Ministère de l'habitat et de l'urbanisme qui est un guide post-séisme, qui vise à systématiser les réparations sur les constructions en terre datant d'avant 1959.
- La norme 3332, dictée à la suite du tremblement de terre de 2010, par un comité d'experts, concernant des paramètres de calcul pour étudier la structure des bâtiments en terre.

Aujourd'hui, l'Etat chilien finance des programmes qui permettent la restauration des biens patrimoniaux, construit en terre. Il y a un intérêt net mais assez récent pour la sauvegarde, le maintien et la restauration de ce type de bâti, pour créer des liens forts entre patrimoine, ville et identité.

Au Chili, il existe un ministère des Cultures, des Arts et du Patrimoine, qui est l'entité qui accorde différents programmes de financement, parmi lesquels des fonds pour le développement de projet en terre, surtout de restauration de bâtis abimés des suites des séismes. Ces fonds sont accessibles à toute entreprise de construction qui peut constituer un dossier de candidature et qui peut justifier d'expériences similaires. D'ailleurs, nous allons voir que plusieurs des projets exécutés ou en cours sont financés par ces fonds du patrimoine. Malheureusement, il manque des experts dans le domaine de la construction en terre pour pouvoir rendre compte des travaux de ces entreprises, pour éviter des interventions néfastes sur du patrimoine bâti en terre.

L'entreprise MAS TIERRA essaye justement de pallier à ce manque en proposant une expertise très ciblée, sur les restaurations de construction en terre. Créée en 2018, l'entreprise a exécuté une vingtaine de chantiers, un peu partout au Chili mais surtout localisés dans la région de Coquimbo. Plus récemment, l'équipe a ouvert son champ de compétences, et a réalisé des chantiers de construction neuve en terre.

L'équipe est composée de la cheffe d'entreprise, Solange, de 6 ouvriers qualifiés et de deux architectes, Johnny, en charge de la partie administrative et Aude, responsable de la partie technique sur les chantiers.

Cette organisation n'est pas aussi limitée dans la réalité, puisque tous les membres font partie du processus de production. Les ouvriers font des propositions de mise en oeuvre, nous travaillons à leur côté quand nous avons du temps ou quand il y a besoin de main d'oeuvre en plus.

L'exemple de la restauration de la Casa Las Palmeras

La Casa las Palmeras est la maison qui appartenait à la poétesse chilienne Gabriela Mistral. Le bâtiment est situé au centre de La Serena, déclaré Monument Historique en 1990.

La structure originelle, datant du milieu du XIXe siècle, est faite de *adobes parados*, structure bois avec un remplissage d'adobe positionnés verticalement. Le projet de réparation intervient après des dommages provoqués par le séisme de janvier 2019.

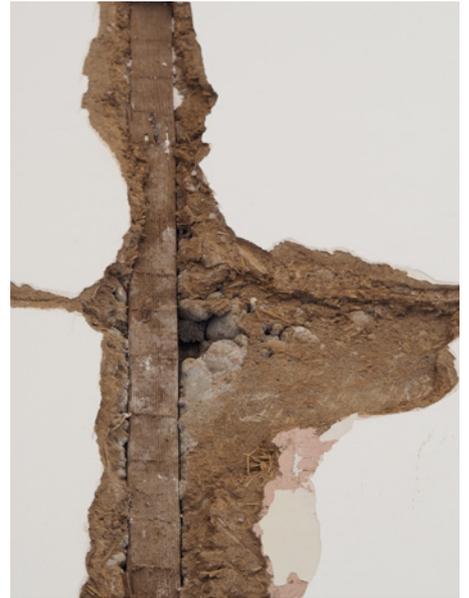
Une très grosse campagne de restauration a eu lieu en 2013. En arrivant sur les lieux en octobre 2019, nous avons rencontré des fissures pour la plupart superficielles, mais surtout nous avons observés des couches de matériaux par dessus la structure originelle, tels que du ciment, ce qui a fragilisé l'ensemble du bâtiment. Après un séisme, le bâtiment a bougé, s'est fissuré mais il a aussi rejeté tous les éléments incompatibles avec la terre. Notre intervention qui ne devait être que superficielle pour pouvoir réouvrir le bâtiment au public, a été beaucoup plus importante, avec décollement des enduits ciment, rebouchage avec un mélange de terre-paille, et ré-enduit à la chaux.

Ceci est un exemple de mauvaises pratiques, qui reflète d'une certaine manière la gérance du patrimoine local et la carence en professionnels qualifiés, avec des travaux non adaptés à la structure existante, qui finalement rend problématique la longévité du bâti, dans un contexte ultra sismique.

Les fissures dues au séisme sont localisées sur la structure en bois, qui forme un quadrillage. Les interventions non adaptées sont visibles à l'oeil nu, du ciment, des ferrailages et même du polystyrène ont été rajouté à la structure initiale, recouverts d'une couche de terre-paille puis d'une couche de plâtre comme finition. Ces éléments ne sont pas compatibles entre eux, c'est à dire qu'ils réagissent chacun de manière distincte face aux mouvements, et c'est dans ces zones de superposition de ces matériaux que se produisent la majorité des fissures pendant un séisme. Les interventions qui ne sont pas appropriées constituent des points faibles pour le bâtiment.



Vues extérieures et intérieures de la Casa Las Palmeras - La Serena



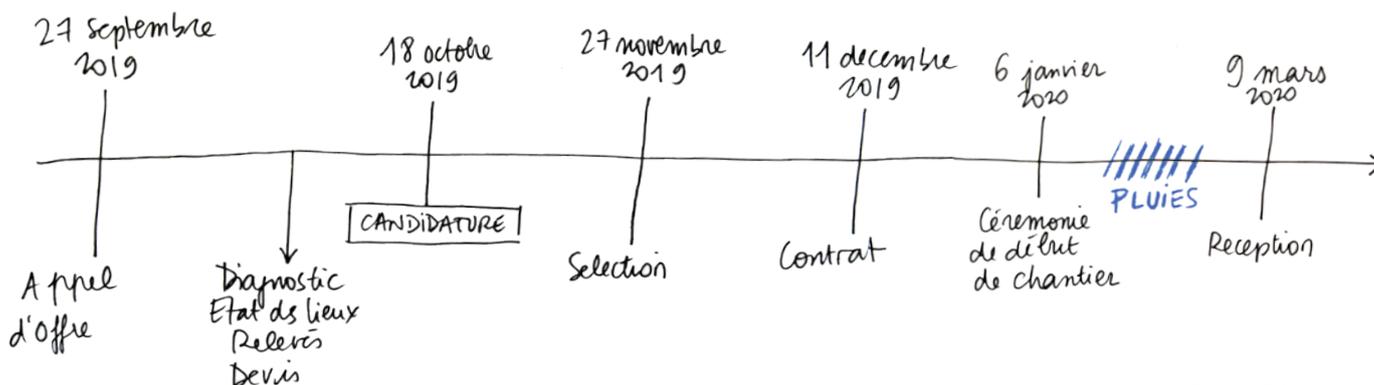
Détails d'interventions non adaptées découvertes à la Casa Las Palmeras - La Serena

PARTIE II/ UNE ÉGLISE AU MILIEU DU DÉSERT

I. Contexte local : Le désert d'Atacama

a. Appel d'offre

Début octobre 2019, nous avons répondu à un appel d'offre public pour l'exécution de « Travaux de réparation du Monument Historique, l'église de San Pedro de Atacama, région de Antofagasta ». Ce projet nous a tout de suite interpellé, puisqu'il s'agissait de travaux sur l'un des Monuments Historiques emblématiques du Chili, situé dans une région que nous ne connaissions pas ou très peu. Au sein de l'entreprise MAS TIERRA, il existe une règle qui consiste à ne pas se poser de limite, à expérimenter pour comprendre et maîtriser. Alors, ce projet, aussi complexe qu'il pouvait sembler, était plutôt vu comme un défi à relever. Mais pour être honnête, nous ne nous sommes pas vraiment projeté dans l'hypothèse d'être retenu. Et, deux mois plus tard, nous avons eu l'énorme surprise de l'être.



Le processus fut le suivant: nous avons vu l'appel d'offre en septembre 2019, pour pouvoir répondre, nous avons dû assister à une visite de terrain, et ensuite établir un diagnostic, une analyse des dommages et un devis des travaux à réaliser. Avec tous ces éléments, nous avons envoyé notre candidature. Suite à notre sélection pour exécuter les travaux, nous avons dû attendre la validation du projet par le « Conseil des Monuments Historiques ». En effet, la loi sur les Monuments Nationaux de 1970 stipule que tout Monument Historique ne peut être détruit, transformé ou réparé sans avoir préalablement obtenu l'autorisation du « Conseil des Monuments Nationaux », qui déterminera les normes auxquelles les travaux autorisés doivent être soumis¹².

Concrètement, nous avons atterri à San Pedro de Atacama le 6 janvier 2020, avec notre équipe de 4 ouvriers, pour le chantier qui durera jusqu'à début mars, entrecoupé par des congés et des manifestations climatiques attendues à cette période de l'année. Les deux autres ouvriers de l'équipe sont restés à Coquimbo sur un autre chantier.

Finalement, le Ministère des Cultures, des Arts et du Patrimoine a réceptionné le chantier le 9 mars et en mai 2020, le même ministère nous a validé le plan de maintenance de l'église.

b. Hiver bolivien

Ce projet de réparation fait suite à des dommages sur l'église et son mur d'enceinte des suites de fortes pluies plusieurs années de suite, qui surviennent pendant « l'hiver bolivien », entre les mois de janvier et février chaque année dans cette région géographique.

Le village est à environ 2 400 m d'altitude. Le climat est extrêmement sec, les précipitations n'atteignent que 35 mm par an, selon les services météorologiques chiliens et se produisent l'été, en janvier ou en février, pendant l'hiver bolivien.

L'hiver bolivien ou hiver *Altiplanico* est un phénomène climatique estival touchant les Andes centrales : la Bolivie et le Nord du Chili, entre décembre et mars. Il se caractérise par des précipitations abondantes et d'orages dans les zones en altitudes, et beaucoup de nuages et du brouillard vers les

12 Loi n°17.288 de 1970, qui légifère sur les Monuments Nationaux, dans son titre III, sur les Monuments Historiques.

côtes du Pacifique. Il est dû aux masses d'air humides en provenance de l'Amazonie qui connaît au même moment sa saison des pluies.

Deux types d'années doivent cependant être distingués :

- Les années Nina, les précipitations sont plus fortes que la normale. La saison des pluies boliviennes parvient à déborder du côté chilien. C'est de plus en plus le cas depuis les années 2010. Les rivières sont en crues, les routes sont coupées.

- Les années Nino, les orages d'été sont plus discrets, plus faibles. Ils se limitent à la cordillère, située à l'est du village de San Pedro

Les maximums quotidien en été sont de 30 à 40 °C (décembre à février) et de 15 à 25 °C en hiver (juin à août). Cependant, les minimums nocturnes sont sous zéro une bonne partie de l'année et peuvent atteindre -15 °C en hiver.

c. Cultures constructives du désert

La zone géographique Norte Grande représente la limite Nord du pays jusqu'à la région d'Atacama. On retrouve dans cette zone les *altiplanos* chiliens et le désert d'Atacama. En dépit d'être une frontière naturelle extrêmement hostile, et présentant les plus hauts sommets des Andes, qui dépassent les 6000 m d'altitude, le désert était aussi le principal accès au territoire de différentes cultures, dont celles des Incas et des Espagnols, qui étaient les derniers arrivés à coloniser les peuples autochtones du Norte Grande. Différentes cultures constructives se chevauchent à travers l'histoire, les plus anciens vestiges archéologiques se retrouvent au village de Tular, à quelques kilomètres de San Pedro de Atacama, qui aurait été construit en bauge, seul exemplaire du territoire national à avoir été construit ainsi.



Aldea de Tular - vestiges d'anciennes constructions en terre, estimées entre 800 et 200 av J.-C. dans le désert d'Atacama.

Atacameniens, Aymara, Quechua, autant de peuples où l'adobe et les maçonneries de pierre et de terre sont très présents, encore aujourd'hui. Ces cultures sont observables notamment dans les églises de la région, églises catholiques, où l'alliance avec les croyances locales sont très présentes. Le bois dans cette zone géographique se fait rare, c'est pourquoi les charpentes sont plutôt « basiques » avec des sections de bois maigres mais nombreuses (comme c'est le cas à Chui-Chui ou à San Pedro).

Le bois de cactus est le plus employé, il a été victime de son succès, et aujourd'hui on ne peut pas en trouver en grande quantité, et il est devenu très cher.

A la fin du XIXe siècle, les villes côtières croient et des ports marchands se développent. Ainsi, du bois du Sud du pays arrivent au Nord, où même du bois étranger (le pin d'Oregon, la canne

d'Equateur), et ainsi les structures mixtes font leur apparition dans la région, avec beaucoup plus de bois à disposition.

De très grandes usines sont construites, comme Humberstone, usine de salpêtre où vivait plus de 3 500 personnes. Ici, les mélanges de techniques, entre l'utilisation du fer, de la terre et du bois, donnent naissances à des complexes construits immenses¹³. Mais cela reste privilégié aux structures privées. Dans les villages, on continue à construire avec des techniques et des matériaux connus et disponibles.

On trouve aussi des constructions en pisé « *tapiál* », ce sont le plus souvent des enclos à bétail ou des clôtures de limite de propriété.

Au Chili, en particulier dans le Norte Grande, il y a des signes d'anciennes constructions en adobe, une tradition d'habitats 'Atacameno', aymara et quechua construits avec cette technique. A l'arrivée des colons, cette technique se développe sur tout le territoire, initiant un apprentissage constructif qui dure depuis plus de 500 ans.

La terre de cette zone est caractérisée par une présence élevée en limons qui se dit « *chusca* », et plutôt faible en argile, les adobes seraient donc moins cohésifs et plus fragiles, et les végétaux qui sont ajoutés au mélange ne sont pas abondants dans la nature, de sorte que l'action de la fibre n'est pas remarquable. La terre de la zone est très chargée en sel, on peut voir au séchage des adobes apparaître des taches blanches. Les éléments en bois de grande dimension sont très rares, donc sont utilisés des petites sections plutôt maigres de *chañar* (caroubier), d'*algarrobo* et de *cardon* (cactus cierge).

Un liant présent dans la zone est le gel végétal issu du détrempe de la *tuna* (figuier de barbarie). Les principales méthodes constructives sont donc basées sur la résistance et la stabilité, avec les ressources disponibles : peu d'ouverture, très grosse épaisseur des murs, et incorporation de contrefort. L'intelligence constructive découle des traditions ancestrales de la région, dont l'influence coloniale est restée limitée du fait du manque de ressources et de finances adaptées à des ornements lourdes. L'objectif était de concevoir des églises performantes, solides et surtout constructibles.

d. Eglises du désert d'Atacama

Les églises et chapelles andines de cette région, visibles aujourd'hui, ont été construites pendant la période coloniale aux XVIe-XVIIe siècles, très probablement sous des ordres Dominicains¹⁴.

Pour mieux comprendre ces constructions, il faut se rappeler la pauvreté des communautés du désert, livrées très souvent à leurs maigres ressources, vivant de petites agricultures, de troupeaux de lamas et d'artisanat. Il est difficile de parler véritablement d'influences architecturales, tant les ressources et les moyens de mise en oeuvre étaient et sont encore très limités.

Ces églises ont un langage architectural typique. Dans le cas des églises du désert d'Atacama, on retrouve des murs épais, des contreforts massifs, des toits à double pente, des petites ouvertures localisées, autant de systèmes constructifs qui obéissent aux inquiétudes des tremblements de terre, caractéristique locale, et qui permettent d'éviter l'effondrement du bati. Le matériau principal est l'adobe combiné avec des pierres volcaniques. Ces éléments déterminent le type de construction: bas, large, et sans fioritures. Ces églises sont l'exemple parfait d'une culture constructive adaptée à son environnement, sobre et solide. Les fondations constituées de pierre, les murs en adobe et les charpentes sont faites de bois du désert : le *chañar* et l'*algarrobo* pour la charpente, du cactus pour les solives, et une couche de paille et de terre pour la couverture du toit. Tous les matériaux sont disponibles dans le désert. Aujourd'hui on pourrait avoir des difficultés pour trouver de la paille en consistance, et le bois de cactus se fait rare tant il a été utilisé pour les charpentes.

13 RIVERA VIDAL Amanda, *El Adobe. Culture sismique chilienne, étude de cas : le "Norte Chico"*. Architecture, aménagement de l'espace. 2016.

14 GAMES D. Larry, GAMES D. Cristian, *Patrimonio Andino-Colonial*, Universidad Catolica del Norte, 2016.



Eglise de Chui-Chui



Liens de cuir entre les planches de «*cardon*» cactus, église de Chui-Chui

La nef est un espace dénué d'ornements, très souvent peinte à la chaux, avec seulement la représentation en tableaux des 14 stations du Chemin de Croix. On retrouve une petite chapelle latérale, ou deux dans le cas des églises les plus grandes, comme celles de Chui-Chui et de San Pedro.

Pour répondre aux autres efforts que ceux qui agissent en compression, la tradition de construction en terre a développé des systèmes de renforcement des murs.

Les contreforts (cf. photo n°1) sont des éléments de renfort à la structure principale pour résister aux mouvements sismiques. Ils sont utilisés dans le cas de murs longs, on les retrouve surtout autour de la nef centrale. Même s'il y a certainement une poussée des murs et du toit, nous n'avons pas d'éléments pour comprendre la taille massive des contreforts des églises locales.

On retrouve aussi des systèmes de renfort avec des matériaux complémentaires à la terre, comme le bois, pour ses propriétés élastiques et de déformation sans atteindre le point de rupture, ce qui lui donne une très bonne résistance aux charges horizontales.

Ainsi, les systèmes de toitures participent à la structure globale des bâtis, avec le chaînage formalisé par la '*viga collar*' (cf. photo n°2) : littéralement « poutre collier » qui « ceinture » le bâtiment par le haut. Il permet une bonne transmission des efforts, de façon à ce que la structure constitue un ensemble fortement organisé¹⁵. Ensuite viennent les bandes sismiques en bois (cf. photo n°3), éléments de liaison horizontale, répartis uniformément entre un nombre défini de rangs d'adobe.

Les clés de bois (cf. photo n°4) sont des éléments très souvent employés, qui renforcent la liaison entre les murs et les planchers ou les charpentes. Ce sont des éléments « isolés » qui par leur redondance sont très efficaces.

Chacune de ces églises génère aussi un espace sacré extérieur connu sous le nom d'atrium, qui est un prélude à l'église elle-même. Cela forme un espace ouvert, où les manifestations religieuses se déroulent, les danses des fêtes religieuses, qui font le tour du village, se terminent dans cet atrium.

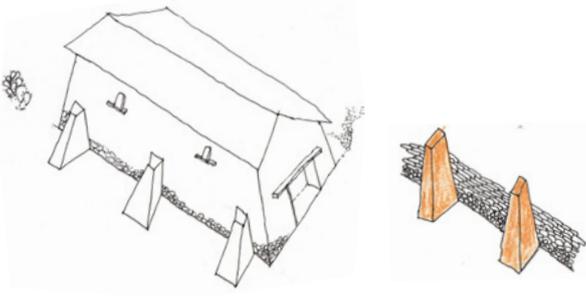
À la Pukara de Turi, au Nord de San Pedro, nous retrouvons les traces de l'église ancienne, de forme rectangulaire, sans artifice, très détériorée, avec des murs en adobe, un soubassement en pierre et un mortier de terre et de cendre. Ces vestiges sont les plus anciens aujourd'hui observables, datent de la deuxième moitié du XVe siècle, et sont orientés selon l'ancien chemin Inca.

La structure en pierre dites pierres liparites de l'église de Toconao se retrouve pour plusieurs autres temples de la région, avec un mortier de terre, de cendres, et de fibres de végétaux (*paja brava* ou *brea*). Avant l'effondrement du toit dû aux fortes précipitations de janvier 2019, il était constitué de poutres de bois d'*algarrobo*, des solives en cactus *cardon* avec une couche de cannes par dessus. Venait ensuite une couche de paille coupée sur laquelle était posée une '*torta de barro*' (couche de terre de 8 à 10 cm d'épaisseur).

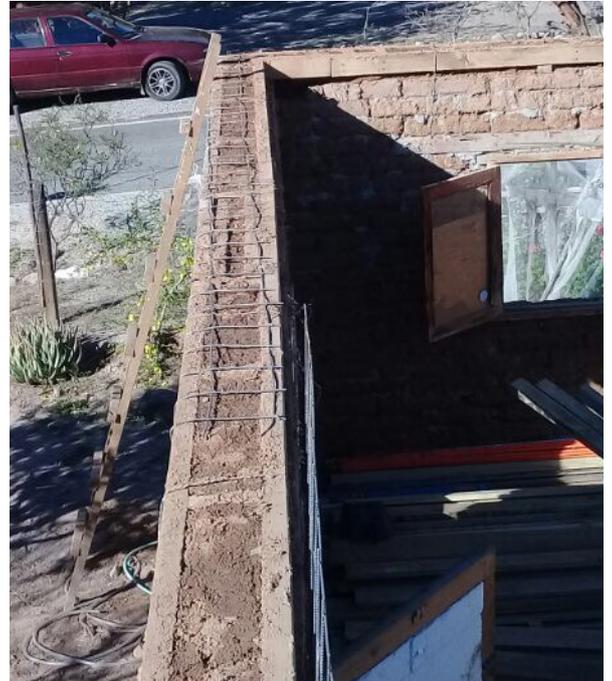
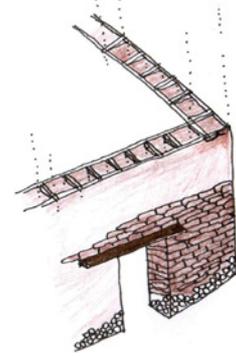
Les églises de Chui-Chui et de San Pedro de Atacama sont considérées comme les deux plus anciennes églises du Chili. Le modèle initial de la paroisse de San Francisco de Asis de Chui-Chui, qui aurait été construite avant 1611, est une structure de base simple en croix latine, qui après plus de deux siècles, a changé son aspect d'origine strictement espagnol à un modèle métissé, avec aujourd'hui une idée de masse dans ses murs, à travers les nouvelles niches qui lui sont rattachées ainsi qu'une série de contreforts sur ses côtés. Des murs en adobe de 1,2 mètre de large. Son plafond était surélevé en bois de cactus, de *chañar* et *algarrobo*, liés avec des attaches de cuir; et une couche de terre et de paille par-dessus.

Sur les côtés, la façade présente deux clochers en pierre effondrés puis reconstruits plusieurs fois. La nef centrale, de 27 mètres de long sur 5 mètres de large, communique avec un baptistère et la sacristie qui rejoint le presbytère. L'église est limitée par un mur d'enceinte en adobe.

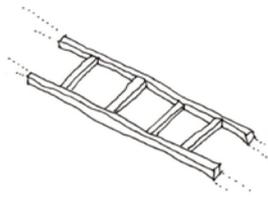
15 Houben Hugo, Guillaud Hubert, *Traité de construction en terre*. 3e édition. Marseille : Éditions Parenthèses, 2006.



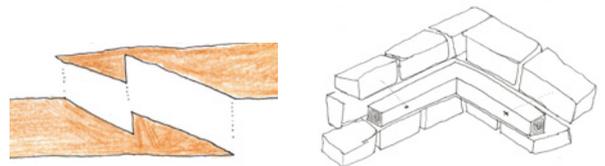
1. Contreforts / Eglise de San Pedro de Atacama



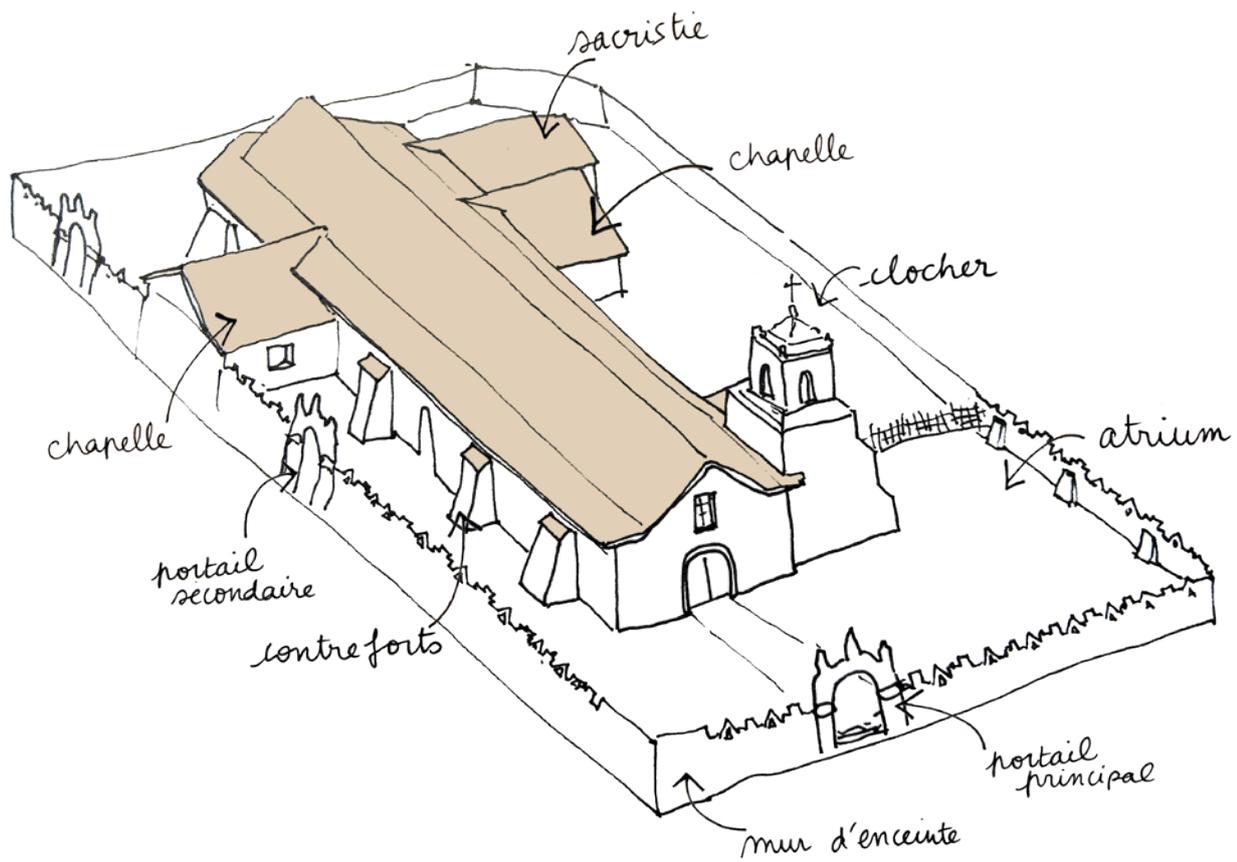
2. Chaînage haut / Casa Hierro Viejo



3. Bandes sismiques / Horcón



4. «Clés» de bois / Horcón



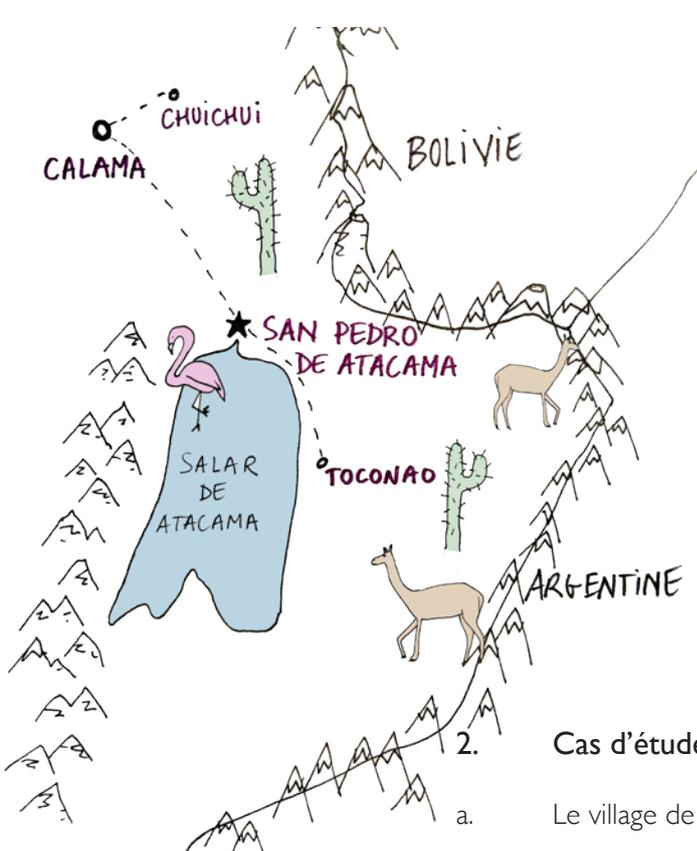
Eglise de San Pedro de Atacama / Eléments architecturaux des églises locales



Eglise de Toconao, dont le toit a été détruit à causes des pluies.



Les solives de cactus entreposées en attendant la reconstruction du toit de l'église de Toconao.



2. Cas d'étude : l'église de San Pedro de Atacama

a. Le village de San Pedro

Le désert d'Atacama est situé dans la région d'Antofagasta, IIème région du Chili. C'est une région très aride, l'une des moins peuplées du pays. San Pedro de Atacama est un village situé à l'extrémité Nord du Salar de Atacama, et à 100 km de la première « grosse » ville, Calama. Perché à 2 400 m d'altitude, c'est le point de départ de plusieurs routes qui mènent en Bolivie et en Argentine, passant la Cordillère des Andes.

Anciennement, le village vivait de l'agriculture et de quelques échanges commerciaux avec la Bolivie et l'Argentine. Au XXe siècle deux soufrières ont été exploitées sur les versants nord et sud du volcan Saicabur, à des altitudes de 5 500 mètres. Elles sont fermées depuis le début des années 1980 car elles n'étaient plus assez rentables.

Depuis, le tourisme est devenu l'activité économique quasi exclusive du village. Cette activité, possible toute l'année, attire des visiteurs du monde entier. Les paysages alentours sont les points forts de la zone, constitués de déserts, de volcans et de lacs d'altitude.

L'actuel San Pedro faisait partie d'un groupement de villages qui date de la période Inca, formés pour se protéger entre eux, et pour maintenir l'activité agricole alors très développée autour du Rio Grande¹⁶. Quinze groupes communautaires appelés '*Ayllus*' forment l'ensemble des villages regroupés autour de San Pedro de Atacama : Solcor, Cacuter, Poconchi, Beter, Coyo, Tulo, Sequitor, Yaye, Checar et Vilama¹⁷.

La deuxième région (Antofagasta) compte une population autochtone totale de 23 230 habitants, soit 3,4% de la population autochtone totale du pays (données du recensement de 2002).

Aujourd'hui, on décompte 25 262 personnes - 4,16% Lican Antai - Atacameños (Radiografía de Género: Pueblos Originarios en Chile 2017) sur un total de 30 369 Atacamenos dans tout le pays., 83% de la population atacamenienne se situe donc dans la région d'Antofagasta.

Aujourd'hui, la population est d'environ 5 000 habitants dans le village de San Pedro, entre chiliens et boliviens, venus travailler dans les complexes touristiques avec eux-mêmes des visas «touriste» de trois mois. Dans le même temps, on dénombre à environ 5 000 touristes par mois ces dernières années¹⁸...

16 BENAVIDES Juan-Gutiérrez Ramón, *Rutas del Capricornio Andino*, Edición del Consejo de Monumentos Nacionales, p.106, Santiago, 2006.

17 AGUIRRE Gustavo, MONTECINOS Hernán, *Capillas e Iglesias del Guía Aquiles Zentilli*, Seminario inédito. Facultad de Universidad de Chile, 1959.

18 Instituto Nacional de Estadísticas - INE - 2017



Vue d'ensemble sur les toits de San Pedro de Atacama



Un mur d'enceinte du village de San Pedro de Atacama

b. L'église

L'église de San Pedro est située au coeur du village de San Pedro de Atacama, bordant la place centrale. Le bâtiment originel a été construit en 1733 ou en 1744, selon la source¹⁹, et déclaré Monument Historique le 6 juillet 1951.

L'église est entourée d'un mur d'enceinte d'adobes doté de trois portes couronnées par un arc. Le retable du maître-autel et les arcades du choeur sont en pierre sculptée. La charpente est en bois de *chañar* et de *algarrobo* avec des liens en cuir de lamas. Parmi les églises du désert d'Atacama, San Pedro est la plus grande, avec un développement planimétrique en croix latine, avec une seule nef, deux chapelles latérales formant le transept, une enceinte de baptistère près de l'accès, une sacristie, un choeur et un clocher.

Caractéristique de l'architecture andine, l'église mesure 43 m de long pour une largeur de 8,50 m au niveau de la nef. La nef de 38 m, depuis l'accès au retable du maître-autel, est presque six fois plus grande que sa largeur. La nef est plutôt étroite en raison des limitations de portée dues à l'utilisation de bois indigènes (*chañar* et *algarrobo*) pour les fermes de toit. En plus d'avoir une capacité d'accueil d'un plus grand nombre de fidèles, pour la région, l'espace est aussi plus important de part sa hauteur de 8 mètres.

On retrouve l'atrium faisant le pourtour de l'église, délimité au Nord et à l'Est, par un muret d'adobe avec sur le dessus, une disposition d'adobes typique de la zone. Au delà du côté esthétique, les adobes sont positionnés ainsi sur le haut du mur, pour le protéger de l'érosion. Ces adobes sont les premiers abîmés, facilement remplaçables quand ils sont trop détériorés et qu'ils ne remplissent plus le rôle de protéger le mur des intempéries.

La volumétrie de l'église est compacte, avec des murs épais de 1,20 m, un toit à double pente avec des avant-toits continus, un clocher massif et très peu de décor autour des portes.

À San Pedro, les moyens et les matériaux de construction existant dans la région d'Atacama jusqu'au XIXe siècle sont concis. Le calcaire si commun dans d'autres parties du Salar ne se trouve pas dans les environs de San Pedro, à l'exception de la pierre roulée de type bolón. Ce matériau était utilisé pour cimenter, en mélangeant avec de la boue, les épais murs d'adobe²⁰.

Cette fondation pouvait être observée puisque la détérioration d'un plâtre laissait visible l'accumulation de pierres jusqu'à environ 40 centimètres du niveau du sol. Les adobes ont des mesures approximatives de 1,20 m. x 0,60 m. et 0,20 m. Les contreforts sont tous en adobe et taillés.

La structure du toit qui est formée d'une quarantaine de fermes en *chañar* et d'*algarrobo*, brutes, à une distance de 0,90 m. Les nœuds sont en cuir, en fil ou en boulon, selon s'ils sont originels ou de réparations ultérieures.

Sur les fermes reposent directement les voliges en bois de *cardón* (cactus cierge) d'environ 1,00 m de long, de largeur variable et de 2,5 cm d'épaisseur. Ils sont placés sur les paires de fermes sans l'aide de nervures et attachés de temps en temps avec des clous, du cuir ou du fil. Ils sont recouverts de deux couches de terre avec de la paille de blé, d'une épaisseur totale de 10 cm.

Les enduits extérieur sont fait de terre, de sable de carrière et de paille. Le revêtement du sol intérieur est aujourd'hui le même qu'il y a 50 ans, fait de planches de pin sur des traverses soutenues directement au sol.

L'église peut recevoir un peu plus de 500 personnes. Aujourd'hui, lors des célébrations les plus importantes, on peut compter jusqu'à 200 personnes, mais généralement, d'après les observations faites sur le terrain, les messes quotidiennes n'accueillent qu'une vingtaine de fidèles. Chaque année, il y a une trentaine de fêtes religieuses célébrées dans l'église. Ces fêtes sont accompagnées de danses traditionnelles et de fanfare.

19 1733 pour Roberto MONTANDON, et 1745 pour Cristian et Larry GAMES D.

20 AGUIRRE Gustavo, MONTECINOS Hernán, *Capillas e Iglesias del Salar de Atacama*, Prof. Guía *Aquiles Zentilli*, Seminario inédito. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, 1959.



L'église de San Pedro, avant les travaux de réparation



L'intérieur de l'église



Motifs atacaméniens sur le mur d'enceinte

3. Le début de l'aventure

a. Historique des restaurations

On suppose la première célébration chrétienne le 5 mars 1557 dans la première chapelle construite à San Pedro de Atacama²¹. Le Dr Casassas, évêque de la paroisse, affirme que les livres ont été perdus des églises paroissiales, et qu'il n'y a pas d'antécédents concrets avant 1737 où la série des livres de sacrement sont conservés.

Son patron est San Pedro. Il est célébré chaque année le 29 juin avec des danses traditionnelles et des groupes de danse venant des villes voisines, faisant de cette date un grand festival.

A l'époque pré-hispanique, c'était le centre de la culture atacaménienne, avec une population importante soutenue par la fertilité de l'oasis, qui assurait le voyage des personnes et des caravanes à travers les chemins incas vers la Bolivie et l'Argentine.

Dans la Géographie d'Enrique Espinoza, à la fin du 19ème siècle, San Pedro apparaît avec 385 habitants ... « situé entre les rivières Vilama et Atacama et vers le Nord de la vaste saline d'Atacama. San Pedro entretient un commerce régulier avec les villes voisines, car c'est le point de rencontre d'un grand nombre de routes ... »²².

Tout comme il n'y a aucune information sur les caractéristiques de cette première église à San Pedro, il n'y a pas d'informations exactes sur l'époque à laquelle l'église actuelle a été construite. La version la plus approximative, situe sa construction au milieu du XVIIIe siècle (entre 1733 et 1745), puis subit des reconstructions partielles comme celle après l'incendie du 6 juin 1839, qui a détruit, comme cela arrive fréquemment avec ces structures, le toit et ce qui se trouvait à l'intérieur de l'église, mais pas sa structure.

Ce que l'on pourrait supposer, selon le père Le Paige, serait que le plan de l'ancienne église était sur le même site, comprenant l'actuel presbytère, le transept et la nef jusqu'au baptistère.

La sacristie occidentale et la partie avant de la nef ont été construites par la suite, allongeant ainsi le bâtiment avec sa tour à l'ouest²³.

Une importante intervention a été réalisée par la Direction de l'Architecture à partir de 1951 (année où l'église est déclarée Monument Historique), remplaçant le toit et renforçant les contreforts. Sur la base de la tour indiquée par le père Le Paige, se dressait autrefois un clocher néo-gothique en bois, qui a été remplacé par celui actuel en adobe, datant de 1964. En 1978, le mur d'enceinte manquant au Nord et à l'Est a été reconstruit, réinterprétant la gravure de Philippi et un an plus tard, des travaux de nivellement et de pavage ont été effectués aux entrées.

21 CASASSAS José María, *Iglesias y Capillas en la región atacameña, administraciones Bolivianas y Españolas*, Impreso en la Universidad del Norte, Sede Antofagasta, año 1975 , p.13

22 ESPINOZA Enrique, *Geografía Descriptiva de la República de Chile*, 5° Edición, Imprenta Barcelona, Santiago, 1903.

23 LE PAIGE Gustavo, *Estudios Atacameños N°3*, Comentarios, 1974, p.103

1557 Première Chapelle construite à San Pedro

1733 / 1744 Construction de l'église actuelle

1839 Incendie Reconstruction du toit et de tous les éléments en bois

1951 L'église est déclarée Monument Historique

1964 Remplacement du clocher en bois en un clocher en adobe (actuel)

1978 Reconstruction du mur d'enceinte au Nord et à l'Est.

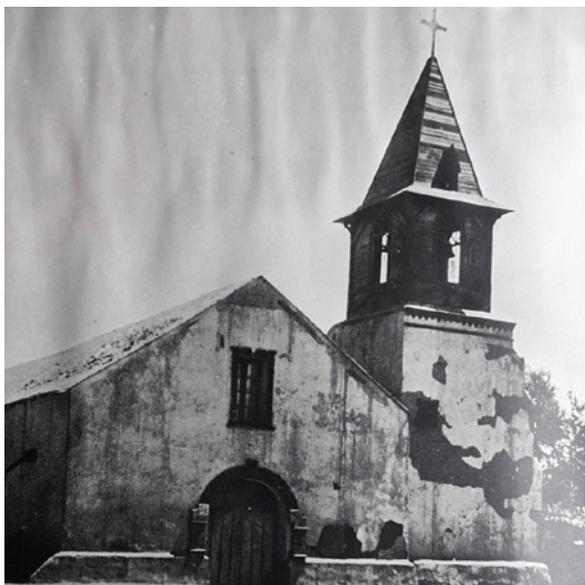
1985 et 1996 Incendies Reconstructions par la communauté religieuse

2007 Séisme Clocher très endommagé

2009 Réparation du clocher par la communauté

2014 - 2015 Restauration complète par la fondation Altiplano. Création de deux nouveaux contreforts à l'Est.

2020 Réparations par l'entreprise MAS TIERRA, de suite de pluies annuelles.



Clocher en bois, en 1931.
Source : enterreno.com



Mur d'enceinte, côté Est, environ 1990.
Source : cl.r.cl



Restauration par la Fundación Altiplano, 2015.
Source : 24horas.cl

En décembre 1985, le toit de la sacristie prend feu, reconstruit en quelques mois par la communauté religieuse de San Pedro, avec des techniques et des matériaux traditionnels, une situation qui s'est répétée lorsque les images du maître-autel ont été retrouvées affectées par un incendie criminel en février 1996. En février 2001, un nouvel incendie criminel a détruit une grande partie des images de saints dans le temple, endommageant également une partie de l'autel.

Le tremblement de terre du 14 novembre 2007 a causé des dommages importants au clocher. Pour sa réparation, plusieurs propositions coordonnées entre le ministère des Travaux publics et la communauté religieuse ont été étudiées, dont aucune n'a jamais été exécutée. Enfin, la communauté elle-même, en juin 2009, a reconstruit seule la partie supérieure du clocher '*Campanario*'.

De mars 2014 à novembre 2015, l'église a été massivement restaurée par la Fondation Altiplano. La charpente a été entièrement remplacée, les fresques, peintures intérieures et l'orgue original de 1750 ont été réhabilités. Les façades de l'église ont été restaurées, les murs ont été repeints, lui changeant son aspect extérieur, passant de blanc à ocre et deux nouveaux contreforts ont été construits sur la face Est de l'église, probablement pour répondre à un besoin structurel. Nous n'avons pas d'information concernant cette construction, si cela a été réalisé suite à un carence structurelle ou si c'était pour une idée esthétique de reprendre l'image la gravure de Rodolpho Philippi, de 1860, qui montre ces deux contreforts. Il aurait alors existé des contreforts sur la façade Est, qui auraient été détruits ou enlevés, pour être finalement reconstruits en 2015 pendant la campagne de restauration.



Gravure de Rodolpho Philippi, première représentation de l'église, 1860.



Restes de corde, liant les adobes, comme une couronne structurelle

| LOCALISATION | PATHOLOGIES | DIAGNOSTIC | CAUSE | RÉPARATION |
|---|---|---|--|--|
| SOUBASSEMENT CONTREFORTS FAÇADES EXTERIEURES | DÉCOLLEMENT DE MATÉRIEL TERRE | LE DOMMAGE EST SUPERFICIEL À LA LIMITE DU STRUCTUREL. POSSIBLE DÉCOLLEMENT DE L'ENDUIT DE BASE QUI FRAGILISERAIT LA STRUCTURE EN ADOBE. MÊME PROBLÈME DANS LES BORDURES ET LE TOIT. | MANQUE DE PROTECTION DE L'EXCÈS DE L'HUMIDITÉ, LANQUE DE MAINTENANCE | REALISATION D'UN NOUVEL ENDUIT SUR TOUTE L'ÉGLISE, IMPERMEABILISANT POUR ÉVITER L'HUMIDITÉ ET FUTURS DÉCOLLEMENTS DE MATÉRIEL |
| DESCENTES DE PLUIE | DÉCOLLEMENT DE MATÉRIEL TERRE | TOUTES LES ZONES OÙ LES DESCENTES DE PLUIE DEPUIS LE TOIT NE SONT PAS DIRIGÉES, OÙ IL N'EXISTE PAS DE GOUTTIÈRES, L'EAU DÉCOULE DONC PAR LES CHEMINS LES PLUS COURTS. | PAS DE GOUTTIÈRE | |
| MURS PONCTUELS | DÉCOLLEMENT DE MATÉRIEL TERRE | IL EXISTE DES FISSURES À PLUSIEURS POINTS DANS L'ENDUIT DU TOIT, CE QUI SE RÉPERCUTE À L'EXTÉRIEUR ET À L'INTÉRIEUR DE L'ÉGLISE. | POINTS FAIBLES SUR LA COUCHE D'ENDUIT DU TOIT | REALISATION D'UNE DERNIÈRE COUCHE D'ENDUIT SUR LA COUVERTURE, SUR LES ZONES AFFECTÉES DE L'ÉGLISE |
| EFFONDREMENT DU MUR D'ENCEINTE | DÉTACHEMENT STRUCTUREL DES ADOBES ET DES ENDUITS EN TERRE | PROBLÈMES STRUCTURELS PRODUITS PAR L'IMPACT DU VÉHICULE QUI A PRODUIT L'EFFONDREMENT DU MUR EN ADOBE ET DE SES ENDUITS. | MANQUE D'ADOBE ET D'ENDUIT EN TERRE | REALISATION D'UN MOULE DE MÊME DIMENSION QUE LES ADOBES ACTUELS ET COUPE DES ADOBES SUR SITE. REALISATION DES ENDUITS SUR LA STRUCTURE D'ADOBES. |
| CANAUX PÉRIPHÉRIQUES | ENCOMBREMENT PAR DES VEGETAUX ET SALETÉS | PRÉSENCE DE MATÉRIAUX VÉGÉTAUX DANS LES CANAUX AUX ALENTOURS DE L'ÉGLISE. | PEU OU PAS DE MAINTENANCE | ENTRETIEN DES CANAUX, PAR LE NETTOYAGE DES ÉLÉMENTS ACCUMULÉS |
| PAVEMENT DU SOL EN PIERRE | DÉCOLLEMENT DES ÉLÉMENTS PAVÉS EN PIERRE | DÉCOLLEMENT DE PIERRE ET CIMENT À CAUSE DE L'EXCÈS D'HUMIDITÉ DUES À L'ACCUMULATION D'EAU DANS LES CANAUX. | PEU OU PAS DE MAINTENANCE | NETTOYAGE ET RESTAURATION DES PAVÉS ENDOMMAGÉS |

Tableau des pathologies au moment de l'état des lieux de l'église, octobre 2019.

b. Etat des lieux du bâtiment

L'appel d'offre organisé en septembre 2019 par le Ministère des Cultures, des Arts et du Patrimoine se basait sur les dommages dûs aux pluies de plusieurs années consécutives, sans intervention de réparation entre temps.

Quand nous avons établi le diagnostic de l'église, en octobre, nous avons trouvé un bâtiment en plutôt bon état général, qui présentait des zones d'écoulement de matière sur les murs et les contreforts. Une vingtaine de fissures ont été observées sur la couverture faite aussi en terre. Un accident de voiture a fragilisé le mur d'enceinte en un point, détruisant plusieurs adobes. Nous avons aussi fait état du manque général d'entretien du temple et de son pourtour, les petits canaux en pierre étaient tous encombrés de végétaux et de saleté, et l'église était entourée d'éléments venant encombrer le tout.

L'église présentait des grosses pertes de matériel sur ses façades, à cause principalement des fortes pluies qui ont cherché un chemin pour s'écouler. Comme il n'y a pas de gouttière, les eaux ne sont pas dirigées, et finissent pas décoller dans les interstices des bordures de toit. Depuis la dernière session de réparation qui a eu lieu en 2015, l'église n'a pas reçu d'entretien. Donc pendant cinq ans, les pluies d'été ont dessiné sur les murs de l'église des traces d'érosion dans la matière.

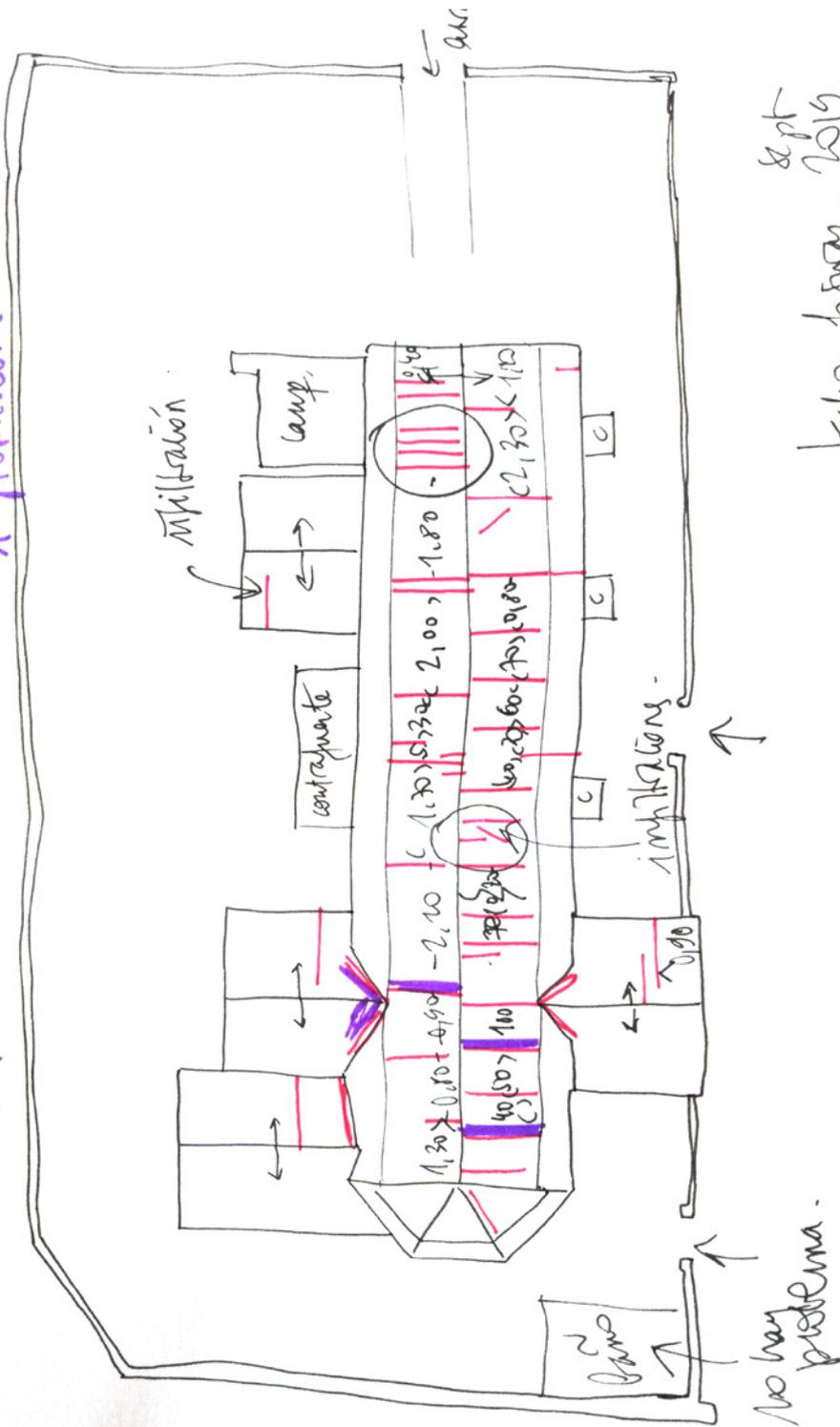
Les contreforts, plus exposés que le reste du bâtiment, étaient très abîmés à la limite d'atteindre la structure du bâtiment. A deux endroits particuliers, on pouvait voir la structure faite d'adobes et un morceau de corde dans un tube de tuyau d'arrosage, qui liait le tout, jouant le jeu d'élément parasismique. L'église était entourée d'une série de meubles et d'objets, qui ont permis aux pluies de ricocher sur les façades, creusant un peu plus ces zones précises, et de contenir l'humidité, bloquant la ventilation naturelle.

La couverture en terre, faite de deux couches de terre mélangée à de la paille, d'une épaisseur initiale de 10 cm a perdu de son épaisseur, et on observe une vingtaine de fissures plus ou moins superficielles sur la totalité de la surface du toit. La paille est visible et commence à se déliter, ce qui provoque des infiltrations à l'intérieur de l'église, sous forme de coulées de terre le long des murs.

Au delà des dommages sur l'église à cause des pluies et du manque de maintenance, il y a eu un accident de voiture qui a détérioré un morceau du mur d'enceinte. Deux adobes sont tombés et ont été détruits, et la structure du mur à cet endroit a donc été fragilisée. Par le manque d'entretien, les évacuations des eaux au sol, sous forme de petits canaux en pierre, sont encombrées et n'accomplissent plus leur rôle, et certaines pierres viennent à s'abîmer et à se détacher.

Cette année est la bonne opportunité pour entreprendre des travaux de restauration, parce que l'église est sur le point de franchir le point de non retour pour des restaurations superficielles. En effet, en l'état, à la prochaine pluie, la structure de l'église sera touchée, et les travaux devraient être autrement plus lourds.

5 que estan p^o dentro / infiltraciones.

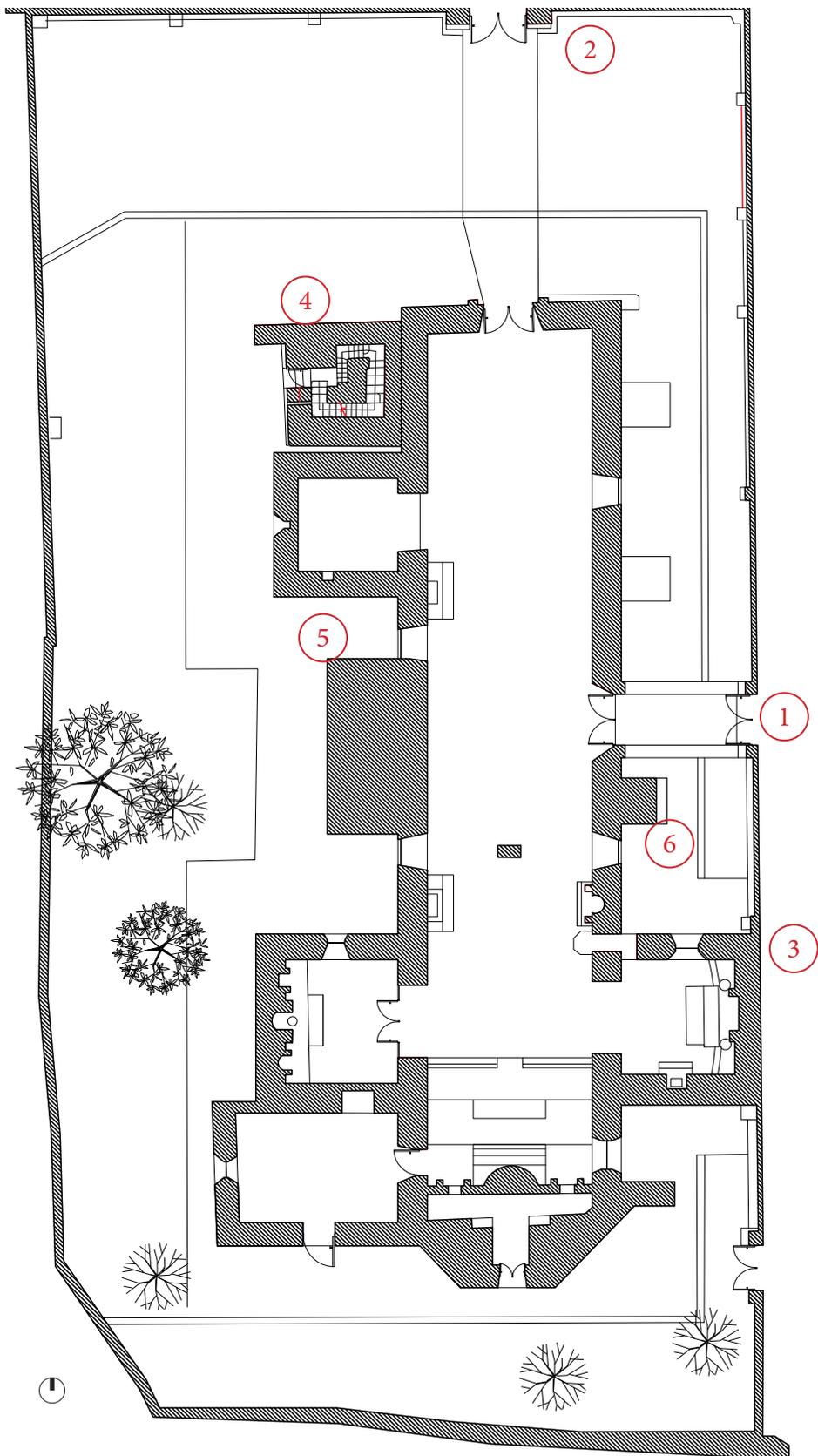


techo. forma - 2019. sept.

No hay problema.



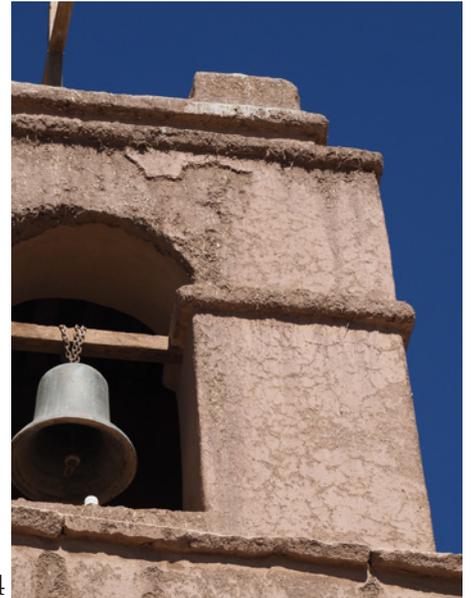
Relevé photographique du toit de l'église, octobre 2019.



Plan de l'église de San Pedro de Atacama



1



4



2



5

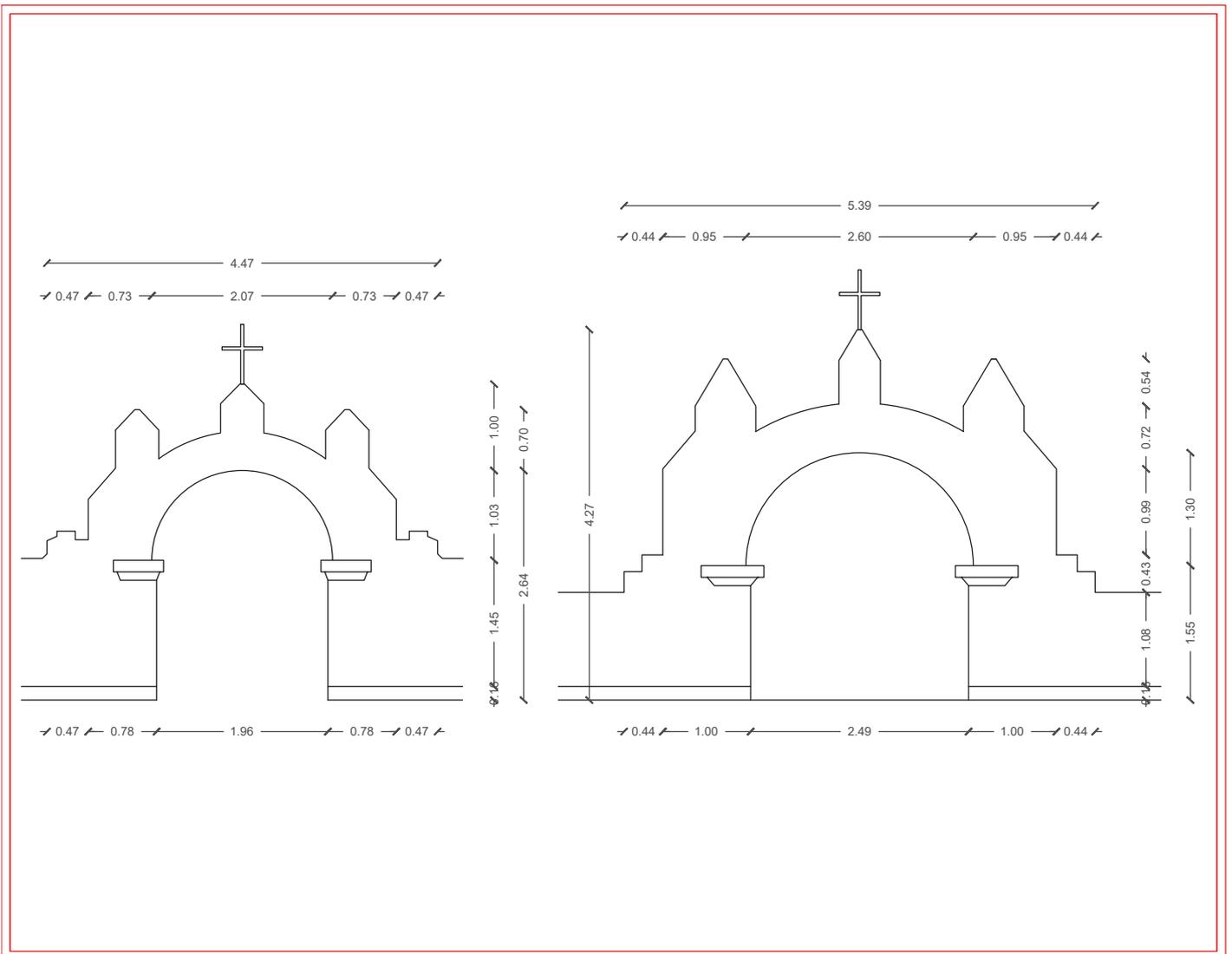
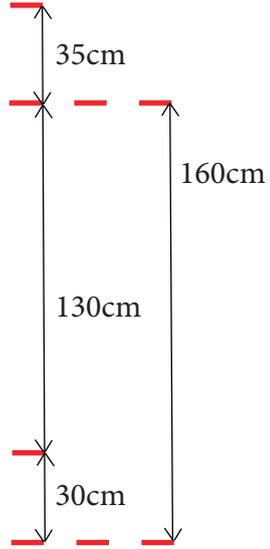
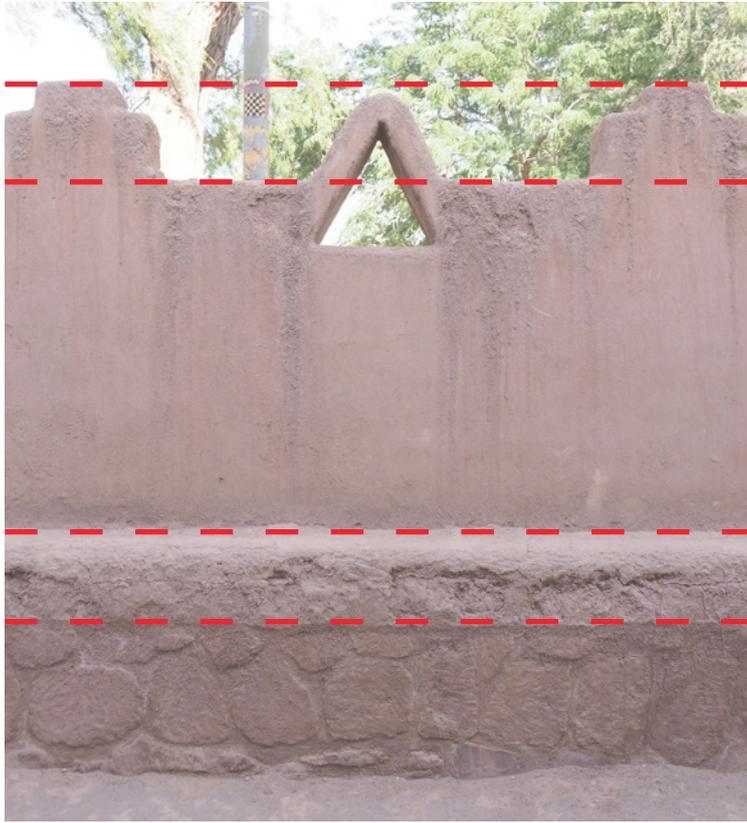


3

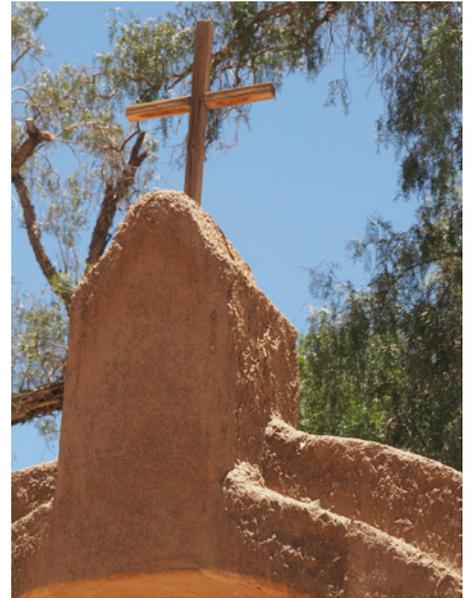


6

Relevé photographique du bâtiment, octobre 2019.



Relevé des éléments architecturaux du mur d'enceinte, décembre 2019, Mas Tierra.



Relevé photographique du mur d'enceinte, décembre 2019.



Cérémonie de début de chantier, avec le chef des communautés indigènes - 6 janvier 2020



Le *campanario* (clocher) très détérioré, beaucoup de perte de matériel.



Reunion citoyenne avec la communauté religieuse pour parler du choix de la couleur - 30 décembre 2019



L'église, couleur terre, avec son clocher en bois. Photo : Juan BENAVIDES, 1950

PARTIE III/ LES MAINS DANS LA TERRE

I. Une fenêtre culturelle : le projet de réparation de l'église

a. Des communautés et des cultures

Avant de commencer l'exécution du chantier, nous avons beaucoup d'idées préconçues sur San Pedro de Atacama. Connaissant le site en tant que touriste, nous nous imaginions sur le chantier entourés de touristes, que cette expérience ne serait pas vraiment locale. Nous avons entendu qu'il n'y avait presque pas de chilien à San Pedro, que ce n'était que des entreprises de voyage gérées par des étrangers. Il s'est trouvé que ce n'était pas complètement faux, il y a effectivement beaucoup de touristes. Mais nous avons sous-estimé la présence de plusieurs communautés indigènes, très actives dans le village, tout comme la communauté religieuse.

Pour ce projet, nous avons travaillé avec des acteurs très différents :

- pour la partie administrative, avec le Ministère de la Culture, l'inspecteur des travaux du Ministère,

- dans le village de San Pedro, avec le maire de San Pedro, le chef des communautés indigènes, le père Nestor de l'église, les membres de la communauté religieuse, et les touristes qui posent des questions.

- sur le terrain avec les fournisseurs de matériaux (terre, sable, paille, cactus).

Tous sont acteurs de ce chantier, et plus généralement de la vie du patrimoine dans ces villages isolés, de son entretien et de sa sauvegarde. Mais pouvoir rencontrer tous ces acteurs n'a pas été simple, et se faire accepter l'a été encore moins. Rappelons que nous sommes des «étrangers», venus d'une autre région, et que nous devons nous adapter à eux, et pas eux à nous.

Pour signer le contrat avec le Ministère, nous sommes allées à Antofagasta et avons rencontré Alexandra Joo, responsable technique de la région d'Antofagasta du Conseil des Monuments Historiques. Nous avons été invité à considérer l'importance de ce chantier, de ce bâtiment, Monument National Historique, connu de tous, photographié des centaines de fois par jour. On nous a rappelé que tous nos faits et gestes seraient observés et commentés par le Ministère. Nous sommes ressorties de cette réunion déjà essouffées devant la tâche à venir. Le contrat était signé mais nous avons eu à ce moment là, un doute sur nos capacités et sur l'employeur du projet.

Plus tard, à San Pedro, au moment de la première réunion participative citoyenne, nous avons retrouvé Alexandra, qui connaît le contextes et les acteurs locaux, et qui a fait le lien justement entre nous et eux. Elle a été facilitateur d'échanges, ce à quoi nous ne nous attendions pas du tout.

Le 6 janvier 2019, nous commençons le chantier de Réparation du Monument Historique Eglise de San Pedro de Atacama. Dans un contexte culturel indigène très fort, il nous a été proposé une cérémonie de début de chantier, donnée par un chaman *Likan Antai*. Avant le lever du soleil, nous nous sommes tous réunis, notre équipe, des membres de la communauté religieuse et quelques habitants du village, devant l'église, pour faire don d'offrande à la *pacha-mama* (terre mère). Cette cérémonie a pour but de protéger l'église, le chantier, les ouvriers, le village et ses habitants pendant le temps du chantier. Chaque personne présente a fait don de vin et de feuilles de coca, pour demander les faveurs à la terre-mère. Nous l'avouons tous aujourd'hui que nous étions très impressionnés ce premier jour de chantier au moment d'assister à cette cérémonie. Aucun de nous n'avions déjà participé à ce type de célébration.

INFORME TECNICO DE RECEPCION DE OBRAS EJECUTADAS

“Reparación del Monumento Histórico, Iglesia de San Pedro de Atacama, región de Antofagasta”

Descripción y evaluación de reparación de daños”

Antes (sin reparación)



Después (post reparación, restauración y/o obra nueva)



| Ubicación | Descripción |
|-----------|--|
| | <p>Se presenta limpieza y reparación de muro entre eje G y H, en fachada Oeste. Se solicita aprobación para aplicación de cal.</p> |

Atte
Aude Andry / Solange Miranda Coletti
Arquitectas en tierra y cultura constructiva
MAS TIERRA RESTAURACIONES

b. Choix de la couleur

Pour ces travaux de réparation, nous avons organisé plusieurs réunions participatives. D'abord pour pouvoir se présenter auprès de la communauté, mais aussi pour écouter les différents avis et souhaits de chacun. Il est apparu assez rapidement que les membres présents pendant les réunions étaient surtout des personnes appartenant à la communauté catholique, rattachée à l'église, dont certains avaient des avis et des conseils techniques concernant la restauration de l'église. Notre rôle a été de les informer sur les réparations, les matériaux utilisés, et sur le processus de chantier. Le principal problème rencontré pendant ces réunions fut de choisir la couleur finale de l'église, puisque cela faisait partie du projet de définir si le monument continuerait d'être couleur terre, ou s'il deviendrait blanc.

Un très long débat sur le choix de la couleur a eu lieu, en essayant de déterminer la couleur originale de l'église. Mais comme nous n'avons pas de date exacte concernant la construction de la base de l'église qui existe aujourd'hui, nous n'avons encore moins d'information sur la couleur originale. Nous savons qu'en 1948, il y a eu des travaux de réparations et à ce moment là, le temple a été couleur terre, grâce à des archives photos de Ignacio Millan et de Juan Benavides qui datent de 1950. Pendant les années 1960, l'église change de couleur terre à blanc, et ce jusqu'en 2015 où pendant la campagne de restauration par la fondation Altiplano, la communauté a voté pour la couleur terre comme finition finale voulue.

Cette année, au cours des réunions participatives avant votation, nous avons informé les membres présents des avantages et des inconvénients, dans les deux cas. Repeindre les murs à la chaux aide à les protéger de l'érosion et de l'action de l'eau sur les murs, et la chaux est un matériau perméable qui laisse respirer les murs en terre. Mais cela nécessite une maintenance régulière, de peinture à la chaux pour garder une robe immaculée. D'un autre côté, la couleur terre appartenait comme « naturelle » dans un contexte désertique. Mais l'état de dégradation de l'église, après les fortes pluies de plusieurs années consécutives, force à admettre qu'une protection supplémentaire serait la bienvenue. De plus, nous avons observé que la plupart des églises de la région étaient peintes à la chaux, ce qui reflète très certainement un souci d'entretien du bâti, qui rejoint une coutume locale. Le 6 janvier 2019 a été voté l'utilisation de la chaux pour repeindre les murs de l'église en blanc.

c. Methodologies de travail

Au début du travail, nous nous sommes demandé en quoi c'était important de conserver un bâtiment en terre comme l'église de San Pedro. L'église présente un potentiel fort au niveau national, à cause de l'affluence touristique du village. C'est aussi l'une des plus anciennes églises du Chili, et elle est située dans un contexte entièrement constitué de maisons en terre. Sa technologie constructive ancestrale perdure depuis près de 300 ans, et les communautés indigènes et religieuses défendent sa qualité de Monument Historique, valorisant le patrimoine local construit. Ces communautés conservent ses traditions et ses coutumes de génération en génération, ainsi le patrimoine bâti est très souvent restauré et laissé identique, toujours en utilisant les ressources disponibles sur place. Les connaissances et compétences techniques sont ainsi transmises et peuvent perpétuer dans le temps. Pendant les réunions participatives, nous avons appris qu'il était de coutume de repeindre l'église à la chaux chaque année, entre habitants et membres des différentes communautés. Avec le changement de couleur en 2015, s'est perdu cette pratique et ce moment de rassemblement.

Une autre question était de savoir par quoi commencer la réparation de l'église. La réponse a été donnée par le silence, l'écoute de la communauté, la compréhension de la dynamique du lieu. Ainsi nous avons pris connaissance des meilleurs horaires de travail, afin d'éviter les heures chaudes et les heures d'affluence de touristes. Après l'image du lieu, la contemplation de l'église et de ses systèmes constructifs nous a permis de comprendre le type de dommages qu'elle présentait et cela nous a conduit à développer un état des lieux critique, à découvrir ses pathologies et enfin à exécuter sa réparation.

INFORME TECNICO DE RECEPCION DE OBRAS EJECUTADAS

“Reparación del Monumento Histórico, Iglesia de San Pedro de Atacama, región de Antofagasta”

Descripción y evaluación de reparación de daños”

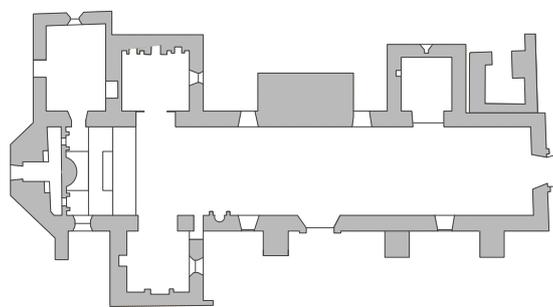
Antes (sin reparación)



Después (post reparación, restauración y/o obra nueva)



Ubicación



Descripción

Se presenta terminación con pintura a la cal del cierre perimetral, contrafuertes en cierre y muros exteriores de baño, en fachada Este, entre eje A y E.
Se solicita aprobación.

Atte
Aude Andry / Solange Miranda Coletti
Arquitectas en tierra y cultura constructiva
MAS TIERRA RESTAURACIONES

A côté de l'expertise technique, nous avons effectué un travail social, de reconnaissance des acteurs du projet, mais aussi de découverte d'une communauté, très impliquée dans la vie de son village et de son église. Ce projet de réparation nous a mené vers la reconstruction d'un symbole pour les citoyens du village. Ainsi, nous sommes allés à la rencontre de toutes les personnes qui étaient liées de loin ou de près à l'église.

Mais cette étape a été compliquée, et n'a pas été aboutie complètement à la fin du chantier. Nous nous sommes bien intégrés, mais nous sommes restés des étrangers pour la communauté locale. Pendant les réunions participatives citoyennes, nous avons écouté les membres de la communauté religieuse, pour comprendre ce qu'ils savaient, ce qu'ils voulaient pour leur église, et pour finir par choisir de la recouvrir entièrement de chaux. Nous avons longuement parlé du bâtiment, des coutumes et des habitudes de chacun, pour appréhender son importance et son rôle de symbole.

Pour effectuer les travaux, nous étions notre équipe composée de quatre ouvriers, Hector, Leo, Pedro et Robinson, nous, Solange et Aude, et deux ouvriers boliviens employés en plus, habitants de San Pedro, Ramiro et Diego.

Avant le chantier, nous avons fait des aller-retour à San Pedro, pour des relevés de bâti, des prises de contact avec les différentes communautés, mais aussi pour se renseigner auprès d'hébergements possibles pour l'équipe. Avant d'arriver sur place, nous avons donc établi une organisation de chantier, de gestion des matériaux, d'horaires de travail, de temps de pause et de repas. Cette logistique a été complètement remise à plat en arrivant sur le site en janvier, surtout à cause du climat et de la chaleur, mais aussi à cause des contraintes économiques, liées à la restauration et à l'hébergement.

Bien que San Pedro soit rempli de touristes toute l'année, janvier est un mois très important, et les prix augmentent. Nous nous sommes retrouvées à tout réévaluer, mais ce sont les ouvriers qui nous ont aidés à reformuler l'organisation, en proposant des horaires de travail adaptés au climat : commencer tôt le matin, faire une pause un peu plus longue entre midi, et terminer plus tard. Ce qui nous a permis aussi d'éviter pendant quelques heures l'affluence des touristes sur le site.

Avant de commencer le chantier nous avons fait une série de relevés, de l'église, du toit et du mur d'enceinte, qui nous ont permis d'établir un état des lieux pour pouvoir répondre au mieux à l'appel d'offre.

Étant un projet financé par l'Etat, par le Ministère de la Culture, nous devons rendre compte de l'avancée des travaux. Nous avons donc mis en place un système de fiches pour que le Ministère puisse suivre et valider les étapes du chantier avec nous, et à distance.



Le processus de préparation de la penca de tuna, de l'état brut au gel végétal.

2. Détails de chantier

a. Les ressources

La première ressource était déjà sur le site avant de commencer quoique ce soit.

Puisque la première étape du chantier a été de nettoyer les lieux, nous avons récupéré toute la terre accumulée au pied des murs de l'église et du mur d'enceinte après les pluies. Evidemment nettoyée des gros résidus et retamisée, nous avons pu la réutiliser dans les mélanges. Ensuite, nous avons acheté de la terre est extraite d'une carrière à 8km au Nord du village de San Pedro de Atacama. Elle est tamisée à 1cm pour le mortier, et à 0,2 cm pour les enduits.

Nous avons accès à deux types de sable, le sable de carrière et celui de rivière.

Le sable de rivière est un sable «lavé» de tous les minéraux présents dans la zone, surtout composés de sel très présent dans le désert d'Atacama, et d'autres minéraux présents dans les sols de cette zone géographique très prisée par les miniers, ce qui le rend peu favorable au travail avec la terre.

Or ce sable devient inutilisable pour travailler avec la terre puisqu'il forme des concrétions hétérogènes.

Le sable de carrière est donc préconisé pour travailler dans la construction en terre puisque c'est un sable brut, contenant tous les petits et moyens grains qui se mélangent parfaitement avec la terre.

Ensuite, grâce au bouche à oreille, nous avons pu trouver des cladodes, les « raquettes » des figuiers de barbarie «*penca de tuna*», à un coût très élevé, puisque assez rare dans la région. Ces éléments végétaux sont un stabilisant naturel, ils sont utilisés en étant découpés et laissés à détrempier dans des bidons d'eau, régulièrement mélangés, au moins deux jours avant d'être utilisés. L'étape de trempage, parfois de macération, est nécessaire pour réunir les conditions favorables de gélification²⁴. Cela donne de la « *bava de tuna* », un gel végétal de cactus, visqueux et légèrement collant, utilisé à la place de l'eau pour les mélanges avec la terre et la chaux.

Pour éviter d'avoir à en acheter trop (nous n'avions pas prévu le coût du matériau), et surtout parce que la *tuna* locale est très sèche et donc ne contient pas beaucoup de « gel », nous avons fait venir des « raquettes » de figuier de barbarie directement de Coquimbo, où elles sont plus épaisses et grasses.

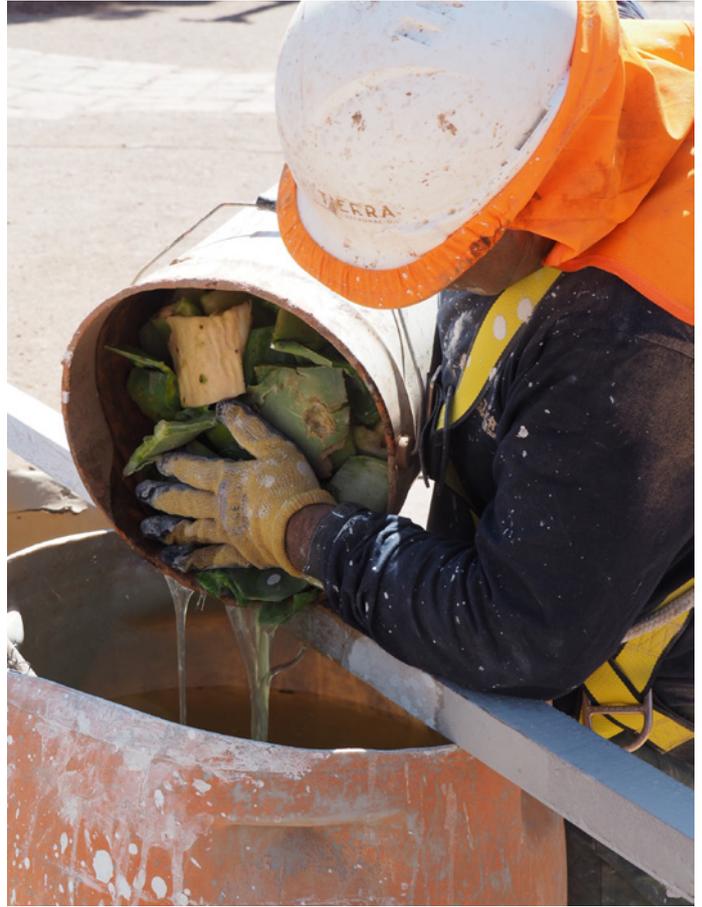
L'une des activités touristiques de San Pedro est les balades à cheval dans le désert, alors les propriétaires ont à côté de leur écurie des petits champs d'herbes hautes pour nourrir les chevaux. Cette herbe haute, appelée communément *pasto*, est la seule ressource en quantité dans la zone, que nous pouvons utiliser comme paille. En effet au moment du chantier, il n'y avait pas de paille disponible dans la région. Pour son utilisation dans la construction en terre, le morceau de paille utilisé est le dernier tronçon du brin, fruit de la dernière moisson qui a lieu au mois de mars, la fin de l'été dans l'hémisphère Sud. Nous avons eu le plaisir de recevoir trois ballots de paille, offerts par des membres de la communauté religieuse pendant une réunion citoyenne.

Globalement, le village étant loin de tout, nous devons faire plus d'effort pour avoir accès aux ressources, comme par exemple trouver un producteur de cactus à Calama, où trouver un camion pour enlever les déchets de fin de chantier, que pour nos précédents projets, où le contexte urbain aide à la gestion de chantier.

24 VISSAC Aurélie, BOURGES Ann, GANDREAU David, ANGER Romain et FONTAINE Laetitia, *Argiles et biopolymères*. Villefontaine: CRAterre, 2017.



La coupe de la paille à la machette



Extraction du gel végétal de *tuna*



Zone de travail, entre la terre, le sable et la *tuna*



Nettoyage des surfaces avant d'intervenir

b. Etapes de préparation

Nous avons des outils récurrents sur les chantiers : pelles, seaux, truelles, taloches, tamis, bétonnière, gants, casques, mais ici certains outils sont primordiaux : lunettes de soleil, vêtements avec des manches longues, chapeaux et crème solaire. Ici à San Pedro, le soleil ne fait pas de faveur et une chaleur pesante l'accompagne. Etant en altitude, les nuits sont très fraîches, alors on attend le coucher du soleil avec impatience.

Sur le chantier, la zone de travail est définie, avec la bétonnière au centre des matériaux, qui fait le lien.

Une fois que nous avons les ressources, il nous faut les transformer en matériaux de construction.

Avant de mettre les mains dans la terre, nous avons procédé à une campagne de nettoyage des abords de l'église, mais aussi des murs du temple. Avec une balayette et une truelle, nous avons enlevé tous les résidus persistants sur l'ensemble du toit, des murs et des contreforts.

Les travaux de préparation sont presque aussi importants que le reste, puisque un mur qui n'aurait pas été nettoyé convenablement recevra mal une nouvelle couche de terre, et pourra se fissurer de nouveau.

La terre arrive «entière», il nous faut la dégrossir, la tamisée. Le sable aussi doit être tamisé, pour les mélanges fins d'enduits de finition.

Les «raquettes» de figue de barbarie se découpent en tranches, et sont redécoupées dans le sens de la longueur pour pouvoir en extraire tout le gel. Ensuite, elles sont laissées à tremper au moins 48 heures dans un bidon d'eau. 4 raquettes sont ainsi laissées à macérer dans un bidon de 200 litres d'eau.

La paille se prépare aussi, elle se coupe en morceaux plus ou moins longs, selon son utilisation future. Pour les réparations d'enduit de corps, la paille est découpée en morceaux d'une vingtaine de centimètres. Pour les enduits de finitions, pour le toit notamment, la paille est découpée en plus petits morceaux.

Ensuite, nous avons fait des essais de mélange pour voir comment réagissait la terre et le sable utilisés.

Les ouvriers, après avoir manipulé la terre, étaient partisans de mettre directement 5 unités de sables pour 1 unité de terre, pour éviter le moindre problème. Une unité correspond à un seau de 12 litres. Nous, Solange et Aude, nous voulions essayer, pour ne pas gâcher le sable, mais aussi pour expérimenter cette terre et l'appriivoiser. Le résultat a été très en faveur de la première impression des ouvriers, puisque le mélange validé a été de 3 unités de sables pour 1 unité de terre. Cette petite anecdote nous rappelle l'importance de toucher, de palper, de sentir la matière. Les ouvriers ont des connaissances dont ils n'ont pas conscience.



Tests de proportions entre la terre et le sable



La réparation des fissures du toit à la main.



Dernière couche sur le toit, mélange de terre et de gel végétal.



Reprises des motifs de culture Likan Antai, mur d'enceinte.



Lissage à la taloche de la surface d'un des contreforts.

c. Processus de réparation

Nous avons commencé par le toit en terre d'une surface de 800 m². Se retrouver sur ce toit a été une expérience nouvelle pour les membres de l'équipe, ouvriers comme architectes.

Pour sa réparation, nous avons établi un état des lieux des fissures, du nombre et de l'importance de chacune. Certaines étaient très superficielles et d'autres étaient traversantes, et responsables des infiltrations à travers le toit.

Sur la base des thèmes techniques, on se demande comment peut durer depuis tant d'années un toit de terre au dessus de la charpente de l'église, comment cela a été construit, et quels sont les éléments qui font que cette technologie ancestrale perdure à travers le temps ? Analyser les problèmes qui peuvent survenir lors de l'utilisation de cette technique de construction, reconnaître sa logique et nous faire réfléchir sur l'incorporation de certains matériaux comme la membrane d'asphalte, qui sont difficiles à intégrer dans la construction avec la terre. Cette technique consiste à réaliser une couche de terre d'épaisseur variable, entre 5 et 10 cm, au dessus de la structure du toit. Cette couche de terre est un mélange de terre et de sable dans des proportions qui sont définies selon le type de terre. Dans la plupart des cas, la terre utilisée a déjà la proportion nécessaire selon l'analyse sensorielle qui aura été fait, un mélange d'argile et de sable de carrière comme il a été fait et il continue de se faire pour le cas de l'église de San Pedro.

A ce mélange, s'ajoutent différents composants tels que la paille, le crottin de cheval ou de lama, et le gel végétal extrait de la tuna. La couche de terre bien réalisée offre d'excellentes conditions d'isolation thermique et imperméable, considérant un entretien régulier.

Nous avons donc procédé par un nettoyage à la brosse et à la truelle pour «ouvrir» les fissures, ensuite il faut mouiller et appliquer à la main le mélange terre-sable-tuna-paille sur les zones abîmées.

Une fois la surface sèche, nous avons appliqué sur la totalité des 800 m² de toiture une couche fine au pinceau d'un mélange plus liquide de terre, sable et gel végétal de *tuna*, sans fibre.

Pour restaurer le morceau de mur d'enceinte fragilisé par l'accident de voiture, les premiers jours, nous avons réalisé deux adobes avec un moule aux dimensions adéquates. Ils ont séché en 3 jours sous le soleil. La réparation n'a pas été compliqué, puisqu'il y avait les trous des anciens adobes bien définis. Le tout a été recouvert d'un mélange de terre, sable, paille et gel végétal.

Comme la surface du toit, les façades, contreforts et mur d'enceinte, doivent être nettoyés avant d'intervenir, à la brosse et à la truelle. Ensuite, il faut humidifier les zones à réparer. Un mélange de terre-sable-paille-gel végétal est réalisé, dans la bétonnière selon les tests préalables, qui sera donc de 3 unités de sable pour 1 de terre²⁵, 4 *tuna* dans 200 litres d'eau, et 8 poignées de paille prédécoupée. On applique ce mélange à la truelle et/ou à la main, et ensuite on lisse avec une taloche, plus ou moins longue selon la main de l'ouvrier-e. Deux ouvriers sont sur la zone de mélange, avec la bétonnière, avec un faisant le mélange et l'autre maniant la brouette, et les autres travaillent à l'application du mélange sur les zones à réparer.

Au cinquième jour de chantier, nous avons eu la surprise de voir tomber des pluies torrentielles mais très courtes. En précipitation, nous avons stoppé le chantier, et n'avons pas eu le temps de protéger les travaux déjà réalisés.

Le lendemain, nous avons pu constater les dégâts, heureusement peu importants.

Par la suite, nous avons donc continué les travaux de réparation en prenant soin de recouvrir avec des plastiques les zones déjà intervenues, en cas de nouvelles pluies surprise.

25 Une unité = 12 litres, donc ici, 3 seaux = 36 litres de sable, pour 12 litres de terre.



Le clocher



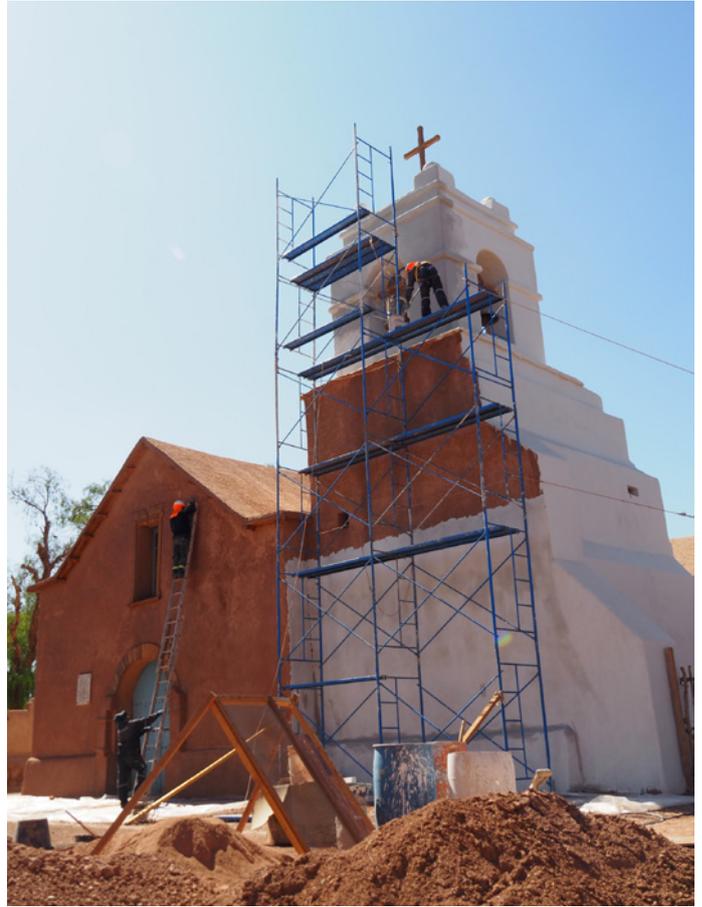
Reprise du contrefort massif côté Ouest



Platachar : talocher le contrefort Ouest



Reprises du mur d'enceinte avec ses petits contreforts



Application au pinceau de la chaux sur le clocher. Deux équipes travaillent en même temps sur la façade Nord



Peinture à la chaux sur la façade Ouest.



Tâches d'humidité persistantes en dessous du toit.



Effet des pluies du cinquième jour de chantier.



Protection provisoire sur les contreforts réparés façade Est.



Protection sur le clocher peint à la chaux.



Effet des pluies à la fin du chantier.

Une fois que toutes les surfaces ont été réparées, et sèches, nous avons commencé à appliquer au pinceau la première couche de peinture à la chaux. Il a fallu jusqu'à quatre couches dans certaines zones de l'église, pour recouvrir les tâches d'humidité persistante. La peinture à la chaux utilisée pour recouvrir toute l'église, et son mur d'enceinte, est faite d'un mélange de chaux hydratée, vendue comme produit de peinture extérieur, et de gel végétal de *tuna*.

Nous nous sommes adaptés au cycle du soleil, et l'avons fui tout le long du chantier, travaillant sur les zones ombragées au fur et à mesure de la journée.

Même si pour nous, le climat a été dur à supporter, pour l'exécution du chantier, la météo a permis un séchage rapide des reprises.

Pour finir, nous avons nettoyé les canaux d'évacuation des eaux au sol, et avons retouchés les petits détails de façade, autour des fenêtres et portes, et sur le mur d'enceinte.

Avant de réceptionner le chantier, il a fallu enlever toute la terre restante, contaminée de mélange avec de la chaux ou des déchets végétaux. Nous les avons donc compilés dans des sacs et fait venir un camion qui recycle ces matériaux pour des travaux de fondations ou de soubassement.

Comme tout chantier qui se termine ici au Chili, il se doit de le clôturer par un barbecue. C'est donc ainsi que nous avons terminé ces semaines fortes en émotion, fiers mais fatigués. Grâce à l'aide d'un ami monteur-video, nous avons pu filmer des étapes du chantier et ainsi avoir aujourd'hui une matière exploitable, autant pour nous, que pour une diffusion de promotion de l'entreprise.



Fête religieuse et communautaire, dont le cortège se termine dans l'enceinte de l'église.



Atelier de présentation du projet et du matériau terre, et de son application.

3. L'après chantier

a. Ateliers pour former à la maintenance de l'église

Nous avons rendu un plan de maintenance à la fin du chantier, en expliquant différentes manières de prendre soin du bâtiment, à moindre frais, mais régulièrement. Mais cela impliquait l'engagement de personnes fixes, de préférence habitant San Pedro pour pouvoir appliquer ces mesures. Donc nous avons organisé à plusieurs reprises des ateliers pour sensibiliser les habitants, membre de la communauté indigène de San Pedro, ou membre de la communauté religieuse. Le résultat a été un peu décevant, très peu de personnes se sont présentées, parmi elles, soit des « officiels » voulant se faire voir en public, soit des personnes sachant déjà manier la terre.

Par contre, nous avons eu la chance de travailler avec des habitants très intéressés, pendant une après-midi, où nous avons échangé sur leurs savoirs et ceux que nous pouvions apporter, pour essayer de donner des clés à la maintenance de l'église pour qu'il ne se reproduise pas les soucis passés.

b. Pluies et inauguration

Juste avant la livraison de la restauration de l'église, travaux réalisés sur ses murs, contreforts, murs d'enceinte, toit et enduits, ce que des locaux nous ont annoncé, mais que nous n'attendions pas, s'est produit, à savoir une pluie diluvienne est arrivée et a duré une journée entière, cela a suffi pour tester la résistance de tous les travaux effectués. Ces pluies se déversent dans une zone qui supporte un climat de plus de 30°C et où ses bâtiments sont 100% en terre, avec des toits faits de *torta de barro*. Pendant ces événements climatiques, la terre se détache et tombe le long des murs, sans causer de dommages structurel, seulement superficiel à condition qu'après ces pluies, chaque propriétaire prenne en charge un bon entretien, ainsi tout peut être résolu sans inconvénient.

Justement, comme nous étions en charge de cet important bâtiment et quelques instants avant son inauguration, nous avons dû effectuer des travaux d'entretien et comprendre les problèmes que nous allions livrer à la communauté religieuse et aux habitants qui utilisent ce Monument. Remplacer l'enduit sur le toit, les enduits sur les murs et les finitions à la chaux, obtenir des raquettes de « figue de barbarie » pour le laisser reposer et l'utiliser comme liant naturel, était une tâche de coordination que nous avons effectuée rapidement afin de livrer nos travaux d'exécution à notre client, le Ministère de la Culture, des Arts et du Patrimoine.

Il y a un héritage national au Chili appelé « bonnes pratiques », nous pensons que le leadership citoyen est l'un des éléments les plus pertinents et des plus puissants. Sans cette dynamique citoyenne, le présent n'est pas compréhensible. Cette définition des « bonnes pratiques » vient de bien faire les choses pour aujourd'hui et demain, quel que soit le coût, car avec le temps, le coût sera plus faible et la récompense émotionnelle sera sûrement plus élevée.

Pour exécuter ce projet, nous avons réussi à migrer dans une région plutôt hostile de prime abord, à s'adapter à un climat compliqué, à tisser quelques liens forts avec des membres de la communauté locale, mais surtout ce chantier nous a uni, nous, comme équipe. Affronter les difficultés ensemble nous a soudé, et assister à l'inauguration, où étaient présents des membres du gouvernement, des membres des différentes communautés, des groupes de touristes, nous a rendu très fiers d'être là comme acteurs et d'entrevoir l'avenir de cette église aux mains de toutes ces personnes.



Présentation du projet sur le site avec la communauté religieuse, posant à côté de bottes de foin données par un membre de la communauté.



Fête de l'inauguration de l'église

CONCLUSION /

De l'expérience de la construction en terre acquise au Chili avec nos mains, à la formation du DSA Architecture de Terre à l'ENSA de Grenoble, nous avons obtenu un nectar d'informations, de connaissances, entre les essais, les échecs et les petites victoires. Ces expériences et projets de restauration nous permettent d'agir avec plus de confiance face à n'importe quel mur de terre, nous savons qu'il faut essayer, qu'il faut valoriser les matériaux locaux et découvrir d'autres manières de faire et de construire grâce aux connaissances de celles et ceux rencontrés en chemin. Ces expériences nous donnent l'opportunité de se poser encore plus de questions, et de vouloir essayer encore de nouvelles choses. Cela nous apporte l'envie d'aller plus loin dans l'étude du matériau terre, et dans l'exécution de construction en terre à travers le monde. Pour nous, respecter cette matière, la comprendre et la connaître est un outil pour notre travail mais surtout un privilège.

Nous avons appris pendant le DSA à manier la terre, sa structure, ses composants, et ses réactions. Nos horizons sur les modèles de gestion de projet de construction en terre ont été élargis. Il nous a été présenté des initiatives citoyennes motivées, de par le monde, qui nous ont donné envie d'être acteur sur notre territoire. L'apprentissage de la formation DSA nous aura surtout été théorique, et suite aux différentes expériences, nous complétons chaque jour nos connaissances pratiques. Même s'il existe des outils de gestion de projet, nous ne sommes jamais vraiment préparés à l'intégration sur un site vivant, ni aux interactions avec les communautés locales. Il s'agit toujours de s'intégrer, de respecter et d'écouter. Le projet de San Pedro aura été très fort sur ce point. Nous avons été confrontés à des situations tellement différentes à gérer sur le terrain, et souvent très rapprochées, qu'il s'agissait d'être alerte et conciliant très souvent.

Etant toutes deux intéressées et motivées par les cultures constructives au Chili, nous avons pu amorcer un début d'investigation en allant travailler à San Pedro de Atacama. Même si nous avons été confrontés à une météo capricieuse, une pression ministérielle et des exigences personnelles d'aboutir ce projet le mieux possible, nous avons balayé beaucoup de préjugés tout au long du chantier. C'est peut-être la leçon la plus importante pour la suite, celle de prendre le temps de s'imprégner d'un endroit, de rencontrer la communauté, de sentir le lieu, de parcourir les environs, avant de prendre les premières décisions. La culture constructive est partout incarnée à San Pedro, elle se lit sur sa place centrale, dans ses rues, dans ses maisons, lorsque vous échangez avec des habitants, quand vous appréciez sa nature où quand vous goûtez un fruit de l'arbre chanar, utilisé comme bois de construction.

Notre réflexion parasismique est strictement liée au maintien de la stabilité structurelle de l'Église, où les limites d'épaisseur, d'élançement, de hauteur maximale, de distance entre les entretoises verticales et les ouvertures de mur, doivent toujours être respectées.

Pour atteindre une performance optimale, l'église doit toujours avoir des renforts dans les liaisons, un chaînage supérieur, des linteaux flexibles, des renforts orthogonaux dans les murs.

La construction doit également envisager une protection contre le vent, l'humidité et l'érosion, par conséquent, une attention particulière doit être accordée à ses fondations de pierre et soubassements, pour éviter l'humidification des murs en adobe par montée capillaire du sol. Le revêtement doit être résistant à la pluie, à l'humidité et au vent, permettant l'évaporation de l'humidité des murs.

Le toit en terre en treillis d'algarrобо, cactus, chanar et cannes est conçu pour résister aux charges verticales et pour transmettre les charges sismiques horizontales à tous les murs en adobe, à travers

les chaînages supérieurs. Il faut conserver tout spécialement les caractéristiques imperméabilisantes du dernier enduit à la chaux et la longueur des avant-toits selon les conditions climatiques de San Pedro.

La conception des éléments structurels de l'Église doit toujours tenir compte des efforts internes et les déplacements doivent conserver les conditions d'équilibre et de compatibilité.

Il faut s'attarder sur la conception sismique des murs en adobe, qui vont dans la direction perpendiculaire à son plan. Compte tenu du comportement élastique du matériau terre, les contreventements verticaux sont calculés avec la contrainte de flexion de la paroi, produite par les forces sismiques perpendiculaires à son plan. Nous considérons que ces contraintes ne doivent pas dépasser les contraintes de traction admissibles en flexion.

La mission des chaînages dans le couronnement de l'Église est de maintenir les murs reliés les uns aux autres, et encore plus lors d'un tremblement de terre, en plus d'être considérés comme des supports pour les murs avec le diaphragme de la mezzanine en bois.

Comme étudié dans le laboratoire DSA, la résistance pourra être re-mesurée au moyen d'un essai de traction, la terre devra avoir une humidité initiale de 20 à 25% pour le contrôle des adobes. L'essai de compression sur les adobes doit respecter le fait que la moyenne des quatre meilleurs échantillons (sur six échantillons) est égale ou supérieure à la résistance ultime indiquée, après 28 jours de séchage.

Après avoir terminé le chantier de réparation de l'église, il nous a paru important de pouvoir réaliser des essais sur la matière, justement, avant de commencer n'importe quel chantier. Nous pensons notamment à des essais de résistance des adobes, des expérimentations sur les enduits, pour mieux caractériser la matière.

Ces éléments nous posent question sur la faisabilité d'un laboratoire sur le terrain, pour pouvoir avoir un temps de réflexion pendant le chantier, concernant le matériau terre. Mais cela impliquerait de l'intégrer au temps de chantier, dans la méthodologie et, jusqu'à dans le devis. C'est un outil pour l'entreprise, mais le client ne voit pas vraiment le résultat de ces tests, et ici ressort la difficulté d'incorporer cet outil et de le justifier.

L'Église a une technologie de construction ancestrale qui se comporte parfaitement. Nous prenons cela comme une référence que l'adobe, appliqué dans un système constructif réfléchi, est parasismique, qu'il a des lois à respecter et dans un contexte de pays où un langage résistant aux tremblements de terre doit être manipulé, l'Église de San Pedro d'Atacama construite 100% d'adobe, répond aux normes nationales et représente un bien meuble qui nous donne des lois de comportement et des règles à suivre.

Il faut considérer tout de même que ces caractéristiques s'appliquent si un entretien annuel est réalisé et que les interventions postérieures sont bien réalisées et compatibles avec le bâtiment.

Dans le cas précis de l'église, le système constructif fait d'adobes, se présente comme un système constructif parasismique, de part la géométrie de sa structure, à la largeur de ses murs, à la longueur entre les entretoises verticales, et aux éléments qui ajoutent de la stabilité, les contreforts, les éléments en bois, le chaînage supérieur ou les linteaux.

Dans ce chemin que nous concluons ensemble, nous pouvons affirmer que le technique sans l'apport patrimonial ne peut exister, n'accompagne pas l'histoire, et de son côté, le patrimoine sans l'aspect technique ne peut pas être soutenu dans le temps. Par conséquent, le travail en équipe dans ces différents domaines, incluant l'ingénierie, les techniques de restauration, le travail social et la médiation, les recherches historiques, entre autres, est la réponse au développement de projets de construction en terre. Aujourd'hui, alors que le contexte mondial est favorable pour construire en différents matériaux sauf pour le matériau terre, nous pouvons le défendre y compris vis-à-vis des questions sismiques, le valoriser pour sa contribution à l'histoire chilienne et mondiale, et avoir l'espoir de pouvoir continuer à construire bien et mieux.

Pour être tout à fait honnête, depuis la fin du chantier nous n'avons pas pris le temps de suffisamment réfléchir un moment sur cette expérience. Heureusement, nous avons eu ces temps de pause pour travailler ce mémoire qui nous ont permis justement de se concentrer sur ce chantier, sur ce qu'on a fait, comment on l'a fait, mais ces moments sont trop rares, trop éparpillés. La dynamique de travail dans l'entreprise est assez dense pour oublier de s'arrêter quelques instants afin de digérer toutes ces informations.

Au moment où le pays se met en pause à cause de la crise sociale et sanitaire, et où la situation est vraiment très compliquée pour beaucoup d'entreprise, de salariés, de travailleurs. Mas Tierra, grâce à des petits projets privés, s'en est bien sorti et a pu continuer à employer les ouvriers jusqu'à présent.

Avec les autres chantiers qui se sont enchaînés, nous n'avons pas pris ce temps de réflexion, pourtant nécessaire, surtout dans le cas d'un chantier assez symbolique. C'est un chantier important par rapport à plusieurs points : déjà pour le bâtiment en lui-même, et pour l'histoire du patrimoine national puisqu'il s'agit d'une intervention sur un Monument Historique et de son changement de couleur. Mais c'est aussi un moment important pour l'histoire de l'entreprise, car ce chantier constitue une opportunité pour réaliser d'autres chantiers publics, pour d'autres chantiers dans la région, mais aussi une expérience forte pour toute l'équipe.

Je me souviens, marchant sur le toit de l'église, à repérer les fissures avec Pedro, un des ouvriers, et avoir regardé le paysage, les volcans aux alentours, les toits de San Pedro, et s'être dit que c'était la première fois que l'on marchait sur un toit d'une église en terre, une église debout depuis plus de 300 ans. Nous sommes restés abasourdis, peut-être un peu par le soleil aussi !

Mais on peut se demander comment on prend du recul face à des expériences fortes et marquantes ? Dans les entreprises de construction, et surtout dans les agences d'architecture, il y a différentes méthodologies pour fabriquer un projet, pour suivre ses étapes. Il y a aussi des outils pour synthétiser les expériences, des moyens de concertation et de réflexion. Mais où est le temps imparti pour faire cette synthèse ? Dans un contexte évident de rendement économique, quel poids à un temps de concertation et de discussion sur une expérience, quand on doit avancer sur des projets, rendre des devis, faire des réunions de chantiers, passer des appels.

Nous pensons très sincèrement qu'il faut s'obliger à prendre ce temps. Ce qu'il nous manque aujourd'hui au sein de l'entreprise, ce sont ces moments pour regarder un peu en arrière ce qui a été fait, pour pouvoir faire mieux ou autrement par la suite. C'est ce que nous essayons de mettre en place aujourd'hui, avec des réunions de fin de chantier entre nous. Mais ça ne demande qu'à être amélioré et approfondi.

Les projets de l'entreprise sont toujours des défis, parce que la terre réserve toujours des surprises, et d'autant plus quand on travaille sur des chantiers de restauration, où la part de découverte est importante. L'imagination sur la matière doit s'accompagner de l'aventure comme l'a expliqué Patrice Doat, c'est ainsi qu'en concluant ce projet, nous commençons aussi une autre aventure. Recommencer en prenant toutes nos recherches sur la restauration à San Pedro de Atacama pour continuer ce fil conducteur et répondre à une nécessité de la communauté religieuse, de sauvegarder l'imagerie de l'église. Ces derniers jours, nous avons présenté un nouveau projet, sous la proposition d'un fond gouvernemental pour le patrimoine, pour réaliser ces modifications au sein de l'église, de restauration des escaliers intérieurs et de construction d'un espace dédié au rangement des éléments religieux de l'église.

Ce chantier de réparation de l'église nous a profondément marqué, même un an après, nous en parlons entre nous comme d'un rêve éveillé. Mais ce qui est sur, c'est que d'une manière ou d'une autre nous reviendrons à San Pedro. Si ce n'est pas pour exécuter le projet proposé de construction d'une bodega et de restauration des escaliers intérieurs de l'église, il y a d'autres projets en cours, notamment portés par la fondation Pangea, qui est plus tournée vers les questions sociales de l'habitat dans la région. Nous sommes en train de tisser des liens forts avec ces personnes, et nous pensons sincèrement que cela pourrait nous amener à réaliser des projets très intéressants, et nous permettre d'élargir notre champ d'action.

Le projet de réparation de l'église de San Pedro représente une mise en situation professionnelle, que nous avons essayé d'analyser et d'expliquer. Une expérience dense et riche en connaissances, qui avec les acquis du DSA et les expériences de chantier nous ont amené à nous poser plusieurs questions.

- Comment s'imposer comme femme dans le milieu de la construction ?
- Quels sont les outils pour faciliter le travail social sur un chantier ?
- Quand prendre le temps de réflexion sur les projets réalisés ?
- Comment s'adapter à une situation de crise pour trouver d'autres opportunités ?
- Quels outils pour garder une ligne horizontale entre les acteurs du projet, entre les ouvriers et les architectes, que la discussion soit ouverte et que chacun puisse donner son avis ?
- Comment mettre en place un petit laboratoire sur chaque chantier ?
- Quels seront nos prochains projets ... ?

Ce projet de réparation de l'église fait partie d'un projet global professionnel. Aujourd'hui, ici, au sein de Mas Tierra, nous orientons les projets vers des chantiers qui nous intéressent, vers des choix définis. Nous sommes conscientes que c'est une chance, alors nous essayons d'en extraire le plus d'avantages, même si le contexte chilien n'est pas le plus sûr, il propose beaucoup de libertés professionnelles, et c'est un atout pour le milieu de la construction avec le matériau terre.

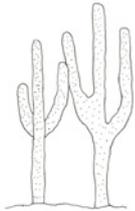
Aujourd'hui, la mouvance est à la préservation du patrimoine sur le territoire chilien, il y a donc de plus en plus de projets publics dans ce sens, mais aussi de projets de clients privés, qui s'orientent vers la conservation de leur patrimoine familial.

Nous sommes capables de répondre à des appels d'offre publics, le réseau local de la région de Coquimbo fait souvent appel à nous pour des projets de moindre envergure mais tout aussi intéressants, puisqu'ils sont souvent situés dans le tissu ancien de La Serena. Chaque semaine, un nouveau projet est mis sur la table. L'entreprise s'est agrandi récemment avec deux nouveaux ouvriers et une nouvelle architecte. Aujourd'hui, nous pouvons dire que ce chantier de San Pedro nous aura permis de mieux nous connaître tous, de nous fédérer, et qui finalement, nous aura lancé sur une belle dynamique, qui pour le moment file à toute allure.

GLOSSAIRE /

Algarrobo : arbre endémique du désert d'Atacama, comme le chañar. L'algarrobo mesure entre 3 et 10 m, a des fruits qui ressemblent à des haricots, comestibles, et aliment favori des lamas. Son tronc et ses branches, assez maigres, sont utilisées dans le milieu de la construction.

Altiplano : zone géographique plane entre les montagnes, située à plus de 3500 m d'altitude, ici *Altiplano Andino*, localisé entre le Chili, l'Argentine, la Bolivie et le Pérou. C'est dans cet endroit que s'est domestiqué le lama et l'alpaca et que se déroule chaque année l'hiver Bolivien, précipitations ponctuelles entre janvier et mars.



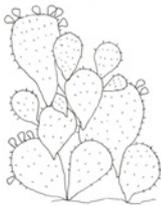
Cardon : cactus cierge, très présents dans la région d'Antofagasta, plus généralement dans le Nord du Chili. C'est un cactus qui peut mesurer jusqu'à 15 m de haut. Son bois a été très utilisé pour la construction dans les régions du Nord, il est devenu compliqué d'en trouver en quantité aujourd'hui. On retrouve son bois dans les solives de l'église de San Pedro de Atacama et de Chui-Chui entre autres.

Chañar : caroubier en français, arbre endémique du désert d'Atacama. C'est un arbre qui peut mesurer jusqu'à 8 m, qui supporte autant les gelées que les températures extrêmement chaudes, et la sécheresse. Son fruit est de la taille d'une cerise, très sucré et utilisé comme plante médicinale.

Likan Antai : nom donné à la langue et aux coutumes associées à la culture indigène de la région du désert d'Atacama.

Temblor : tous les séismes qui sont en dessous d'une magnitude de 7 sur l'échelle de Richter. Au Chili, on ne prête pas plus d'importance aux *temblores*, puisqu'il y en a plusieurs par jour.

Terremoto : au delà d'une magnitude de 7 sur l'échelle de Richter, un tremblement de terre devient *Terremoto*. Cette différence d'appellation a été définie par les compagnies d'assurance, qui définissent les *terremoto* comme les séismes qui provoquent des dommages, contrairement aux *temblores*. Après un *terremoto*, il y a un toujours un doute de tsunami.



Tuna : cactus figues de barbarie, formé de cladodes «raquettes» dont est extrait le gel végétal qui sert de stabilisant pour les mélanges de terre, sable et paille. Ce gel est utilisé aussi dans les mélanges pour des enduits de finition et dans les peintures à la chaux. On utilise aussi ce gel à des fins dermatologiques.



Algarrobo



Chañar



Solives de cactus *cardon*

BIBLIOGRAPHIE /

AGUIRRE Gustavo, MONTECINOS Hernan, *Capillas e Iglesias del Salar de Atacama*, Prof. Gaia Aquiles Zentilli, Seminario inédito. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, 1959.

ANUBHUTI, *Horizons of Experiential Learning: Architecture of Bhutan*. Mimansa, Research cell of SMT Manoramabai Mundle College of Architecture, 2012.

BARON Ana María, BRAVO Leandro y LLAGOSTERA Agustín, *Investigaciones arqueológicas en Tulor 1*, Instituto de Investigaciones Arqueológicas R. P. Gustavo Le Paige, Universidad del Norte, 1984.

BLAITT GONZALEZ Rocio, BONCZOS RUDLOFF Cristian, *Construcciones Bioclimáticas en Barro y Totora*, Hacienda el Tangué, Tongoy, Coquimbo, Chile., 2003.

CAIMI Annalisa, *Cultures constructives vernaculaires et résilience : entre savoir, pratique et technique : appréhender le vernaculaire en tant que génie du lieu et génie parasinistre*. Architectures Matérielles [cs.AR]. Université de Grenoble, 2014.

CARAZAS Wilfredo, RIVERO Alba, *Bahareque. Guía de construcción parasísmica*. Villefontaine: Ediciones CRAterre, 2002.

CARILLO Elena, DE LA RICA Jon, *Construir con tierra hoy en Mesoamérica. Experiencias de prevención de riesgos y reconstrucción social del hábitat en México*. Red MesoAmeri-Kaab, 2019.
Evaluación de Danos y Soluciones para construcciones en Tierra Cruda, Manual de Terreno. Documentos Técnicos, Corporación de desarrollo tecnológico, 2012.

CASASSAS José Maria, *Iglesias y Capillas en la región atacameña*, administraciones Bolivianas y Españolas, Impreso en la Universidad del Norte, Sede Antofagasta, 1975.

Construcción en Quincha Liviana, Universidad de Concepcion, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2017.

GAMES D. Larry, GAMES D. Cristian, *Iglesias Atacamenas del Altiplano Chileno*, Universidad Católica del Norte, 2009.

GAMES D. Larry, GAMES D. Cristian, *Patrimonio Andino-Colonial*, Universidad Católica del Norte, 2016.

GERMANN Georg, SCHNELL Dieter, *Conserver ou démolir ? Le patrimoine bâti à l'aune de l'éthique*, Editions Infolio, 2014.

HIDALGO Jorge, *Historia Andina en Chile*, Editorial Universitaria, Santiago, 2004.

HOUBEN Hugo, GUILLAUD Hubert, *Traité de construction en terre*. 3e édition. Marseille : Éditions Parenthèses, 2006.

KARMELIC L., *Estudio descriptivo de los inmuebles patrimoniales construidos en tierra cruda que forman parte del Inventario de Patrimonio Cultural Inmueble de Chile*, 2009.

LE PAIGE Gustavo, *Estudios Atacamenos n°3*, Comentarios, 1974, p.103

MATTE Joaquin, *Historia del Obispado Castrense en Chile*, Bicentenario, Santiago, 2010.

MONTANDON Roberto, *Iglesias y Capillas Colonias en el Desierto de Atacama*, Cuaderno N°2 del Consejo de Monumentos Nacionales, Santiago 1951, p.19

MORENO Rodrigo, PEREIRA Magdalena, *Arica y Parinacota, La Iglesia en la ruta de la Plata*, Fundación Altiplano, 2011.

Manual de Edificación Sismorresistente con Tierra, Técnica Constructiva: adobe reforzado con cana. Hábitat Tierra, Centro para el desarrollo sostenible del hábitat, 2011.

RIVERA VIDAL Amanda, *El Adobe. Culture sismique chilienne, étude de cas : le “ Norte Chico ”. Architecture, aménagement de l'espace*. 2016.

RODRIGUEZ Hernan, *Iglesias de Atacama, Nueva arquitectura para antiguas creencias en Atacama*, Edición Banco Santander y Museo Chileno de Arte Precolombino, Santiago, 2012.

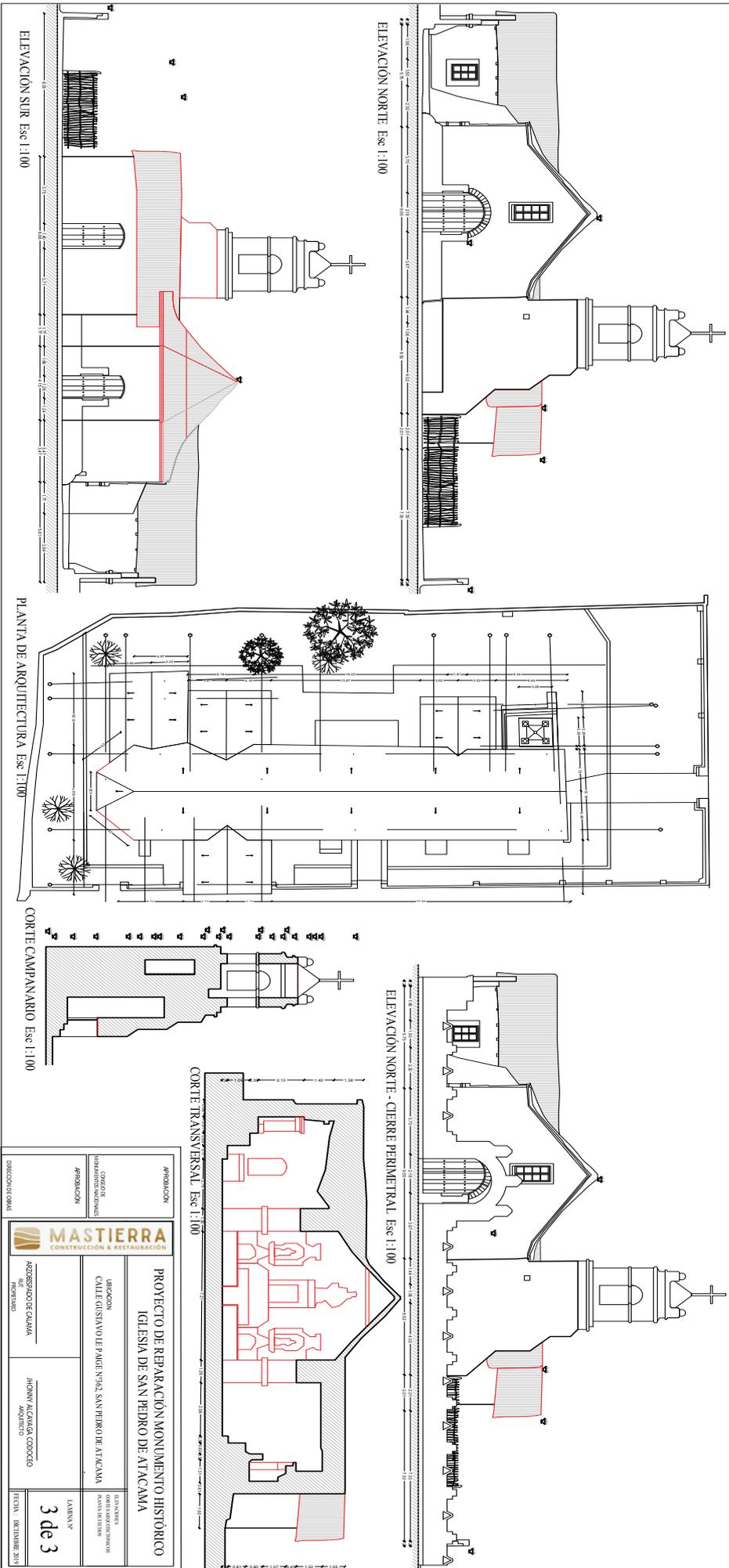
RODRÍGUEZ Larrain, *Aportes de la enseñanza de la arquitectura en Tierra a la mitigación de Riesgos*. Ediciones Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013.

VISSAC Aurélie, BOURGES Ann, GANDREAU David, ANGER Romain, et FONTAINE Laetitia. *Argiles et biopolymères*. Villefontaine: CRAterre, 2017.

VOLHARD, Franz, *Construire en Terre Allégée*, Actes Sud, 2016.

Ley N°17.288 de Monumentos Nacionales y normas relacionadas. Ministerio de Educación, Gobierno de Chile, 2016.

Site Internet du Conseil des Monuments Nationaux du Chili : <https://www.monumentos.gob.cl/>



| | | | |
|--|--|---|----------------------------|
| APROBACION COMITÉ DE ADMINISTRACIONES INDIVIDUALES APROBACION | | APROBACION DIRECCION DE OBRAS | |
| PROYECTO DE REPARACION MONUMENTO HISTORICO IGLESIA DE SAN PEDRO DE ATACAMA | | MASTIERRA CONSTRUCCION & RESTAURACION | |
| UBICACION CALLE CRISTÓBAL COLÓN Nº 328, SAN PEDRO DE ATACAMA | DISEÑOS Y DISEÑOS DE INTERIORES PAVIMENTOS | ACCESORIOS DE CALIDAD SIN PROBLEMAS | LAMINA Nº 3 de 3 |
| RESPONSABLE DEL PROYECTO JHONNY ACMAÑA CORNEJO INGENIERO | FECHA 18/07/2017 | | |

San Pedro de Atacama, Marzo del 2020

PLAN DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN

**"REPARACION DEL MONUMENTO HISTÓRICO
IGLESIA DE SAN PEDRO DE ATACAMA, REGION DE ANTOFAGASTA"**



Definición de mantenimiento

Mantenimiento corresponde a labores frecuentes, limitadas y periódicas destinadas a conservar sistemáticamente las condiciones necesarias del material, estructura y funcionalidad de un bien, asegurando su supervivencia y transmisión futura. "El conjunto de acciones recurrentes en los programas de intervención, encaminadas a mantener los objetos de interés cultural en condiciones óptimas de integridad y funcionalidad, especialmente después de que hayan sufrido intervenciones excepcionales de conservación y/o restauración".

El concepto mantenimiento queda referido a los controles o intervenciones en aquellas obras ya restauradas o bien en un estado aceptable de conservación, que no han requerido labores de restauración.

1. Introducción

Se presentan en este documento los procedimientos utilizados para diseñar un Plan de Mantenimiento y conservación para Iglesia San Pedro de Atacama, el objetivo de este proyecto es documentar las herramientas utilizadas para planificar el mantenimiento.

El plan esta enfocado en integrar el mantenimiento preventivo a un sistema donde se trabaja de forma correctiva, además se centra en crear una herramienta que permita generar históricos de mantenimiento mediante guías de ciclos de mantenimiento, inspecciones periódicas, intervenciones programadas y un sistema generador de base de datos se obtuvo un método para generar históricos de mantenimiento (estadísticas), además de prever eventos desafortunados provocados por la naturaleza y/o la falta de protección del inmueble.

Podríamos decir que el Plan de mantenimiento y conservación de ISPA considerara obras, trabajos y acciones de mantenimiento junto a todas aquellas intervenciones de conservación física y funcional que se realicen en la Iglesia a lo largo del ciclo de su vida útil, como mantener, conservar y también mejorar el estado original de un elemento o espacio de la Iglesia a lo largo del tiempo.

Lo primero a identificar, es nombrar a una comisión de la comunidad religiosa quien sera responsable de nombrar a un Inspector (persona dentro de la comunidad) que consideren con los conocimientos técnicos, tanto de experiencia en intervenciones en edificaciones de tierra y haya participado en los Talleres de mantención realizados en el transcurso de la Reparación del Monumento, esta persona se llamara "evaluador técnico", el cual siempre podrá contar con asesoría para indicar patologías y formas y/o metodologías de intervención y reparación de la Iglesia.



2. Plan de mantenimiento y conservación

Procedimiento y conceptualización

El procedimiento que pretende, mediante el análisis de los factores que afectan a un bien concreto, identificar, cuantificar y prever las patologías futuras y en base a ello, programar los controles e intervenciones de mantenimiento precisos para coartarlas y hacer que la Iglesia mantenga una vida útil armoniosa y controlada, conociendo su sistema constructivo original, el cual necesitara siempre de mantenciones preventivas y programadas.



2.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo tiene la posibilidad de ser programado en el tiempo, por lo tanto, evaluado económicamente. Está destinado a la prevención, teniendo como objetivo el control de las deficiencias y problemas que se puedan plantear en la Iglesia debido al uso natural de ella, es una actividad destinada a evitar gastos mayores en los edificios, especialmente en aquellos casos donde se han realizado grandes inversiones. Busca prevenir que se den fallas y deterioros en las estructuras, cuyo costo de reparación es mas elevado una vez que se presenten. También el mantenimiento preventivo busca alargar la vida útil de las obras civiles, y mejorar aspectos como la estética y salubridad de las edificaciones.

Para realizar el mantenimiento preventivo se deben realizar inspecciones en las distintas unidades de obra que compone el conjunto del de la Iglesia.

Las operaciones de mantenimiento, por tanto, trascienden de limitarse a arreglar lo que se rompe o a arreglar lo que se ha dejado estropear, precisando pues, interesarse por conocer la Iglesia, apreciar lo común como propio y dispensar un trato cuidadoso organizando lo que se precisa mantener cada año. El objetivo del mantenimiento preventivo es evitar que se produzcan fallas tempranas en los elementos que componen un edificio. Las edificaciones pueden llegar a su vida útil esperada si se les brinda mantenimiento de forma adecuada, por tanto, es el principio fundamental en que se basa el mantenimiento preventivo. Es además el más recomendable, dado que trata de llevar una planificación integral que pueda hacer una asignación de recursos (mano de obra, materiales, etc.) adecuada para conservarlo en buen funcionamiento. En este sistema se trata de llevar un proceso de inspecciones rutinarias y sistemáticas, además realizar algunas correcciones menores que prevengan un acelerado deterioro del inmueble.



A) Factores

Causas o agentes de alteración, agrupados según su naturaleza o procedencia en:

Naturales

Humedad

Agentes bióticos

Constructivos o estructurales

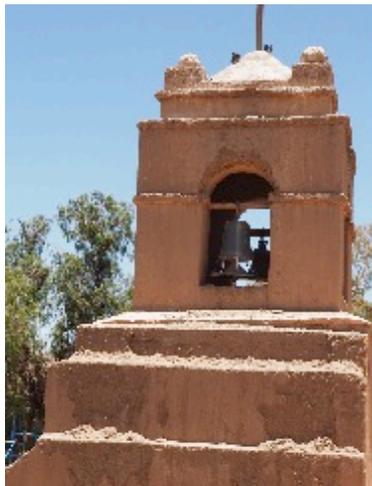
Antrópico (daño provocado por el hombre)

Se define factor de peligrosidad como la presencia o probabilidad de que aparezcan acontecimientos agresivos y dañinos, siendo agrupados según su homogeneidad, en tres categorías:

Estático - Estructurales

Naturales

Antrópicos



- Patologías encontradas en la Iglesia:

| | UBICACIÓN | DAÑOS / PATOLOGIAS | DIAGNOSTICO | CAUSAS | REPARACION |
|---|---|--|---|---|--|
| 1 | ZOCALOS CONTRAFUERTES FACHADAS EXTERIORES | DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL TIERRA | LA ZONA SE ENCUENTRA CON DAÑO SUPERFICIAL AL LIMITE DE LO ESTRUCTURAL, POSIBLE DERRUMBE DE CAPA REVOQUE GRUESO QUE CAUSARIA DESPRENDIMIENTO DE ADOBE EN MASA, GRIETA EN LOS ENCUENTROS DE MUROS, FISURAS SUPERIORES, DAÑOS EN CIELO Y ESTRUCTURA DE TECHUMBRE | FALTA PROTECCION EXCESO DE HUMEDAD FALTA DE MANTENIMIENTO | SE REALIZARAN NUEVO REVOQUE SOBRE TODA LA IGLESIA, SE IMPERMEABILIZARA PARA EVITAR HUMEDAD Y FUTURO DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL |
| 2 | BAJADAS DE AGUA LLUVIAS | | EN TODAS LAS ZONAS DONDE SE DETERMINA LAS BAJAS DE AGUA DESDE LA TECHUMBRE, NO ESTAN DIRECCIONAS, NO EXISTE CANALETAS, POR LO TANTO EL AGUA BUSCA UN CURSO NATURAL Y CAE SOBRE LO MUROS | FALTA DE CANALETAS | |
| 3 | MUROS PUNTUALES | | EXISTE FALLAS EN LOS REVOQUES EN ALGUNOS PUNTOS DE LA TECHUMBRE, QUE PROVOCAN CAIDA DEL AGUA DESDE EL TECHO POR LOS MUROS, ESTO SUCEDE EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DEL MH | FALLA EN ALGUNOS PUNTOS DE REVOQUES DE TECHUMBRE | |
| 4 | COLAPSO PARTE DEL MURO DEL ATRIO | DESPRENDIMIENTO ESTRUCTURAL DE ADOBES Y REVOQUES GRUESO Y FINO DE TIERRA | EXISTE FALLA ESTRUCTURAL PRODUCTO DE IMPACTO VEHICULAR QUE PROVOCO DESMORONAMIENTO DE MURO DE ADOBE Y SUS REVOQUES | FALTA DE ADOBES Y REVOQUES EN TIERRA | SE REALIZARA MOLDAJE A LA MISMA MEDIDA DEL ADOBE ACTUAL Y SE PROCEDERA A CORTAR ADOBE EN OBRA, SE REALIZARA LA ESTRUCTURACION DEL MURO Y SE PROCEDERA A REALIZAR REVOQUE GRUESO Y FINO |
| 5 | CANALES | SUCIEDAD Y ESTANCAMIENTO DE MATERIAL VEGETAL | EXISTE ESTANCAMIENTO DE MATERIAL VEGETAL EN CANAL QUE SE ENCUENTRA EN PERIMTRO DE LA IGLESIA | FALTA DE MANTENCION | SE REALIZARA LIMPIEZA RETIRANDO SEDIMENTOS ACUMULADOS |
| 6 | PAVIMENTO HUEVILLO | DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL PIEDRA Y CEMENTO | EXISTE DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL PIEDRA Y CEMENTO DEBIDO A EXCESO DE HUMEDAD PRODUCTO DE LLUVIAS Y ACUMULACION DE AGUA POR ESTANCAMIENTO DE CANAL | FALTA DE MANTENCION | SE REALIZARA LIMPIEZA y RESTAURACION DE PAVIMENTO DAÑADO |

- Leyes del sistema constructivo en tierra que debería respetar la Iglesia:

| | ELEMENTO | FORMA | FUNCION |
|---|--------------------|---|--|
| 1 | ALERO | DEBEN SER DE 70CM, MISMO MATERIAL DE TECHUMBRE | PROTECCION DE FUTUROS PROBLEMAS EN LA ESTRUCTURA |
| 2 | ZOCALO | DEBEN SER DE 70CM, A LA CAL, PIEDRA U CEMENTICIO | |
| 3 | AGENTES BIOTICOS | DEPENDIENDO DEL TIPO, DISTANCIAMIENTO MINIMO 2MT | |
| 4 | HUMEDAD | DISTANCIAMIENTO MINIMO 3MT | |
| 5 | IMPERMEABILIZACION | ELEMENTO NATURAL AGLUTINANTE O PORO ABIERTO | |
| 6 | MANTENCION | DEPENDIENDO DE LA ZONA, 1 VEZ AL AÑO ACOMPAÑADO DE ESPECIALISTA | |

- Procedimientos técnicos utilizados para la reparación de la Iglesia:

| ELEMENTO | LUGAR | FUNCION | DOSIFICACIÓN | | ESTADO DEL MATERIAL |
|----------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------------|---|---------------------|
| | | | MEDIDA EJECUTADA EN TAMBOR 200 LT | | |
| | | | AGUA | PENCAS DE TUNA (aglutinante natural) | |
| | | | 200 LT | 5 HOJAS (cortadas a la medida de 5cm x 15cm), recomendado reposo del aglutinante : 3 días antes de utilizar | |
| 1 | MORTERO DE TIERRA | Muros | Mezcla para grietas | 3 baldes de arena + 1 balde de tierra + 1/2 balde de paja + agua con penca de tuna | PLASTICO |
| 2 | REVOQUE GRUESO DE TIERRA | Muros | Capa de pre-terminación | 3 baldes de arena + 1 balde de tierra + 1/4 balde de paja + agua con penca de tuna | VISCOSO |
| 3 | REVOQUE DE CAL | Muros | Capa de terminación final | 3 sacos de cal + disuelta en agua con penca de tuna 200lts | LIQUIDO |
| 4 | ADOBE | Cierre perimetral | Elemento estructural | 1 balde de tierra + 1/2 balde de paja + agua con penca de tuna | PLASTICO |
| 5 | MORTERO DE TIERRA PARA GRIETAS | Techumbre | Sello en grietas | 3 baldes de arena + 1 balde de tierra + 1/4 balde de paja+ agua con penca de tuna | PLASTICO |
| 6 | REVOQUE FINO DE TIERRA | Techumbre | Capa de pre-terminación | 3 baldes de arena + 1 balde de tierra + agua con penca de tuna | VISCOSO |
| 7 | IMPERMEABILIZACION | Techumbre | Capa de terminación final | 1 balde tierra + agua con penca de tuna | LIQUIDO |

Para el mortero la tierra fue arneada con una malla de diametro 1cm, para limpiar los residuos que podria traer.

Para los revoques la tierra fue arneada con una malla de diametro 0,2, para limpiar los granos mayores.

La arena utilizada fue la de río.

Las actividades de limpieza que se realizaron en la Iglesia, fueron ejecutadas a mano alzada, de forma que no alterara ningun material original, es decir, los canales y pavimento de huevillo fueron limpiados a mano y con brocha, recogiendo el material suspendido en ambos y retirados a mano.

Los materiales como la tierra y arena fueron dejados en el acceso principal de la Iglesia, a las 6am, posterior estos fueron transportados en caretila hasta el acceso.

Todo el escombros o material sobrante de la Iglesia fue retirado en sacos de genero que fueron subidos a mano alzada sobre camion pequeño, esta actividad se realizo entre las 6:00-8:00 am para evitar accidentes por los transeuntes.





B) Agentes de alteración

Podemos definir como los mecanismos, activos o pasivos, aquellos que tienen la capacidad para producir un efecto negativo y que desembocan en una o varias lesiones. Generalmente varios agentes pueden actuar conjuntamente para producir una misma lesión en la Iglesia, como por ejemplo, los efectos climáticos en los meses de Enero a Marzo.



C) Métodos para prever los futuros daños

- Análisis de las causas, esto es, de los agentes de alteración que tienen incidencia sobre el bien.
- Análisis de las patologías (efectos) que anteriormente a la intervención de restauración sufría.

El primer método, aunque indirecto, resulta más acertado, ya que implica un proceso de deducción teórico completo. Al analizar las causas de degradación, se podrá determinar cuáles han sido anuladas o coartadas durante la intervención de restauración y cuáles siguen preexistiendo y por tanto podrán potencialmente volver a ocasionar alteraciones en el bien patrimonial de la Iglesia.

A lo largo de este estudio en la Iglesia, se presentan unos listados de agentes de alteración agrupados en factores, y patologías relativas a los diferentes materiales. Es preciso señalar que estos esquemas son una simplificación teórica de la realidad. La experiencia nos demuestra que la mayor parte de las veces es la confluencia de varios agentes la que provoca un proceso patológico, e incluso que ciertas alteraciones son las causantes de otras posteriores (por ejemplo la aparición de grietas provocará pérdida de resistencia en los revoques en muros), o bien patologías primarias que provocan la incidencia de agentes de alteración (por ejemplo la aparición de filtración de agua sin procedencia identificada en cierre perimetral, atrio de Iglesia).

Por tanto en el caso de la Iglesia los procesos patológicos no son comúnmente lineales en la realidad, lo que implica que la mejor garantía de corrección de un Proyecto vendrá dada por la experiencia del redactor en el campo de la conservación.

En cuanto al análisis de patologías sufridas de la Iglesia es conveniente hacer algunas aclaraciones: todos los daños sufridos han sido y serán reparables, por lo tanto son de carácter de conservación.

2.2 MANTENIMIENTO CORRECTOR

El mantenimiento corrector comprende aquellas operaciones necesarias para hacer frente a situaciones inesperadas, en la Iglesia, es decir, no previstas ni previsibles. Las reparaciones y sustituciones físicas y/o funcionales son operaciones típicas de este tipo de mantenimiento, como por ejemplo, si sufriera la caída de un árbol o un evento natural cualquiera.

La vida útil de la Iglesia, independientemente de su uso y destino, se alarga paulatinamente con un correcto mantenimiento, unido a rehabilitaciones profundas que adecúan los espacios y las instalaciones a las nuevas necesidades.

Una correcta conservación se hace indispensable para la optimización de la inversión de toda conservación anterior realizada a la Iglesia. El funcionamiento de todas y cada una de sus espacios, así como una gestión profesional que controle el gasto que dicho mantenimiento origine.

En muchos de los casos el costo de realizar la actividad de reparación o sustitución es elevado, debido a que muchas de las correcciones que se realizan se pudieron prever y evitar a tiempo, esto cuando el problema no tenía mucha significancia. En resumen, el mantenimiento correctivo se centra en atacar de forma inmediata (por lo general) el problema cuando éste es visible o sus consecuencias se han hecho notorias. Esta acción no es planificada sino que responde a una necesidad, producto del uso mismo de la estructura y a su interacción con el medio ambiente.

De acuerdo a los trabajos realizados durante los meses de Diciembre a Febrero 2020 podemos identificar que las acciones principales para actuar en la Iglesia son:

1. Conocer

Conocer las operaciones que periódicamente se realizan en la Iglesia.

- a) Limpieza de canales
- b) Mantener la protección a la cal

2. Evitar

Evitar la aparición de síntomas patológicos derivados de un inadecuado uso, falla de material o falta de protección respecto a fenómeno natural.

- a) Evitar instalar mobiliario cercano al perímetro de los muros
- b) Evitar utilizar red húmeda cerca de los muros

3. Mejorar

Mejorar la mantención periódica de la Iglesia, respecto a una mantención controlada y no invasiva.

4. Promover

Promover la mantención colectiva de la comunidad activa que utiliza la Iglesia, esto ayudaría a continuar con la Cultura Constructiva que tiene hoy la Iglesia, incentivar a su cuidado y mantención.

- a) Promover la plantación de penca de tunas en algún lugar exterior próximo a la Iglesia, con el fin de contar con materia prima natural para utilizar en mezcla de mortero de tierra y revoques a realizar para la mantención de la Iglesia.
- b) Promover la mantención a través de la comunidad religiosa o voluntarios, quienes se podrían organizar mensualmente para la limpieza exterior y una dinámica de 1 vez por año para la pintura a la cal en toda la Iglesia.

Para realizar una mantención preventiva o paliativa de la Iglesia, hemos graficado el siguiente instrumento técnico para revisión y así facilitar la identificación del estado de conservación de la Iglesia.

| | | |
|--|--|--|
| FICHA DE USO Y MANTENIMIENTO | | Nº |
| | | Fecha |
| "Monumento Histórico Iglesia San Pedro de Atacama, región de Antofagasta" | | |
| 1.- Descripción y evaluación de daños_SECTOR O ELEMENTO CONSTRUCTIVO | | |
| Precauciones | Prescripciones | Prohibiciones |
| <p>1. Se evitarán situaciones de humedad persistente que pueden ocasionar corrosión de los muros.</p> <p>2. Se denunciará cualquier fuga observada en las canalizaciones de suministro o evacuación de aguas.</p> <p>3. En los muros de tierra se podrán realizar pequeñas perforaciones cuando se encuentre humedad para verificar el estado integral del muro por dentro, pero no son recomendables orificios mayores.</p> | <p>1. En caso de quedar los muros al descubierto, las deberán descubrirse la zona humedad, esperar el secado y volver a reparar con mortero natural de tierra, nunca con yeso ni elemento cementicio.</p> <p>2. En caso de aparición de fisuras, manchas o erosiones por golpes, el usuario avisará al encargado de la mantención de la Iglesia (parroco u otra persona de la comunidad) para que dictamine su importancia y si procede, las medidas a implementar.</p> <p>3. Erosiones, desconchones y/o humedades no persistentes, serán reparadas por el equipo especializado que haya participado en Taller de mantención realizado anteriormente.</p> | <p>1. No se realizará ningún tipo de actuación sobre los elementos estructurales de la Iglesia sin el estudio previo y autorización por parte de un técnico competente.</p> <p>2. Está terminantemente prohibida toda manipulación (picado o perforado) que disminuya su sección resistente o deje las armaduras al descubierto. En este último caso, nunca se protegerán con yeso las armaduras.</p> <p>3. Se prohibirá cualquier uso que produzca una humedad mayor que la habitual.</p> |
| Instrucciones de mantenimiento | | |
| Frecuencia | Responsable | Inspecciones |
| 1 vez al mes | Sr | <p>1. Inspección visual, observando si aparecen fisuras y grietas en soportes, desconchados en el revestimiento de tierra.</p> <p>2. Inspección, observando si aparecen señales de humedad.</p> |
| RELACIÓN DE LESIONES Y/O SÍNTOMAS FRECUENTES (ESTRUCTURA): | | |
| <p>– Deformaciones: desplomes de paredes y fachadas.</p> <p>– Fisuras y grietas: en paredes, fachadas y pilares.</p> <p>– Piezas de piedra fracturadas o con grietas verticales.</p> <p>– Humedades.</p> <p>Las juntas de dilatación, aunque sean elementos que en muchas ocasiones no son visibles.</p> <p>Las lesiones que se produzcan por un mal funcionamiento de las juntas estructurales, se verán reflejadas en forma de grietas en la estructura.</p> | | |
| FIRMA: Aude Andry / Solange Miranda Coletti Arquitectas en tierra y cultura constructiva MAS TIERRA RESTAURACIONES | | |

3. Conclusión

- El mantenimiento preventivo ayuda a reducir los costos de realizar reparaciones a mayor escala, mientras el costo de inversión de éste no supere el de la acción correctiva.
- En el plan de mantenimiento de la Iglesia se debe trabajar combinando acciones preventivas y correctivas, éstas van a depender del costo de oportunidad que generen cada una de ellas.
- Con base en la experiencia del personal de mantenimiento designado por la comunidad religiosa y con apoyo de manual técnico post taller de mantención que se realizara, se pueden identificar los deterioros y fallas más comunes de los principales elementos y tipologías que podrían afectar a la Iglesia.
- Las guías de ciclos de mantenimiento son una herramienta útil para programar actividades de conservación de la Iglesia y establecer las frecuencias de mantenimiento, conforme al comportamiento de las fallas y deterioro de la Iglesia.
- Al registrar varios reportes se puede dar seguimiento al comportamiento de las fallas y deterioros de los diferentes elementos que componen la Iglesia. Según el comportamiento se pueden programar intervenciones para anticipar que una falla o prever el grado de deterioro de un elemento no alcance un desarrollo avanzado.
- Para obtener históricos de mantenimiento se debe establecer un monitoreo de los procedimientos de mantenimiento, lo cual se logra con base en los registros de las inspecciones e intervenciones realizadas, así como las fallas y deterioros encontrados y un registro del personal que puede ser dejado por libro de obra e informe de fotos y debería ser entregado a la comunidad religiosa o parroco para el almacenamiento del registro.
- De los registros históricos de mantenimiento se obtiene la capacidad de cuantificar la atención y cubrimiento de las necesidades de los edificios, además genera índices de la cantidad de bienes y servicios utilizados para atender las necesidades de la Iglesia, así como las frecuencias reales de deterioro y falla de elementos componentes de la Iglesia.

4. Recomendaciones

- Cuando se realizan las inspecciones periódicas se deben programar la revisión de la mayoría de elementos que conforman la estructura de la Iglesia (muros, techumbre, campanario, etc), esto con el fin de recopilar la mayor cantidad de información posible y evitar realizar segundas inspecciones, las cuales generan un gasto de recursos y tiempo innecesario.
- Cuando se ha recibido una solicitud de mantenimiento y se vaya realizar la reparación o sustitución del elemento dañado, el inspector de la comunidad debe revisar el resto de elementos que se ubican alrededor de la falla para determinar si se debe aplicar alguna otra intervención.
- Manejar un fondo de reserva para realizar trabajos, así usarlo para imprevistos y actividades de emergencia que hayan que realizar en la Iglesia.
- Incorporar asesoría de maestros locales en experiencia ejecutada dentro de la comunidad religiosa para que su conocimiento sea una colaboración práctica en las labores que requieren de planificación, estructuración y coordinación del mantenimiento y las otras actividades que se realizaran en la Iglesia.
- Considerar las afectaciones que no pudieron ser solucionados a través de estas reparaciones y son fundamental de abordar a través de un proyecto de conservación mayor: Falta de ejecución de canalización de aguas lluvias, en techumbre canalización en bajadas de aguas lluvias, falta de zócalo en todo el perímetro de la Iglesia, protección en campanario para evitar ingreso de aves que habitan actualmente ahí y dañan los revocos de este, aumento en la superficie de los canales de absorción de agua debido a que los actuales en los meses de diciembre a marzo su capacidad es insuficiente.
- Considerar que los meses entre diciembre-marzo de cada año no es recomendable realizar trabajos de mantenimiento debido al invierno andino, así como invierno altiplánico, nombrado precipitaciones de verano, estas no colaboran con la buena ejecución de los trabajos en tierra.

**"Reparación del Monumento Histórico
Iglesia de San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta"**



**"Reparación del Monumento Histórico
Iglesia de San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta"**

LICITACIÓN : 4650-24-LP19

RESOLUCIÓN EXENTA 2153, FECHA 27 NOV 2019
MINISTERIO DE LAS CULTURAS, LAS ARTES Y EL PATRIMONIO

EMPRESA : MAS TIERRA SPA
RUT : 76859288-8

MONTO : 69.750.000 IVA INCLUIDO

PLAZO : 85 DIAS CORRIDOS

FECHA DE INICIO : 16 DE DICIEMBRE 2019

FECHA TERMINO : 9 DE MARZO 2020

LUGAR DE LAS OBRAS : IGLESIA SAN PEDRO DE ATACAMA

PRESUPUESTO DE OBRAS A REALIZAR

| ITEM | CONCEPTO |
|------|---|
| 7.1 | Levantamiento de daños y validación de proyecto CMN |
| 7.2 | Tramitación permiso CMN |
| 7.3 | Instalación de faenas |
| 7.4 | Despeje y limpieza del terreno y suministro e instalación de letrero |
| 7.5 | Reparación de revoques exteriores en contrafuertes, muros y torre de campanario que presentan daños por efecto de las lluvias |
| 7.6 | Reparación filtraciones al interior del templo y reposición de la última capa de revoque en cubiertas del templo |
| 7.7 | Reposición parcial muro del atrio colapsado por impacto vehicular |
| 7.8 | Limpieza y mejoramiento de canales con sedimento acumulado y pavimentos erosionados en atrio del templo |
| 7.9 | Aseo y entrega final |
| 7.10 | Actualización del plan de mantenimiento y conservación que forma parte del Modelo de Gestión del Templo |
| 7.11 | Informe final |



DIAGNOSTICO Y CRITERIOS DE INTERVENCIÓN

| UBICACIÓN | DAÑOS / PATOLOGÍAS | DIAGNOSTICO | CAUSAS | REPARACION |
|--|---------------------------------------|--|---|---|
| 1 ZOCALOS CONTRAFUERTE FACHADAS EXTERIORES | DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL TIERRA | LA ZONA SE ENCUENTRA CON DAÑO SUPERFICIAL AL LIMITE DE LO ESTRUCTURAL, POSIBLE DERRUMBE DE CAPA REVOQUE GRUESO QUE CAUSARIA DESPRENDIMIENTO DE ADOBE EN MASA, GRIETA EN LOS ENCUENTROS DE MUROS, FISURAS SUPERIORES, DAÑOS | FALTA PROTECCION EXCESO DE HUMEDAD FALTA DE MANTENIMIENTO | SE REALIZARAN NUEVO REVOQUE SOBRE TODA LA IGLESIA, SE IMPERMEABILIZARA PARA EVITAR HUMEDAD Y FUTURO DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL |
| 2 BAJADAS DE AGUA LLUVIAS | | EN TODAS LAS ZONAS DONDE SE DETERMINA LAS BAJAS DE AGUA DESDE LA TECHUMBRE, NO ESTAN DIRECCIONAS, NO EXISTE CANALETAS, POR LO TANTO EL AGUA BUSCA UN CURSO NATURAL Y CAE SOBRE LO MUROS | FALTA DE CANALETAS | |
| 3 MUROS PUNTALES | | EXISTE FALLAS EN LOS REVOQUES EN ALGUNOS PUNTOS DE LA TECHUMBRE, QUE PROVOCAN CAIDA DEL AGUA DESDE EL TECHO POR LOS MUROS, ESTO SUCEDE EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DEL MH | FALLA EN ALGUNOS PUNTOS DE REVOQUES DE TECHUMBRE | |



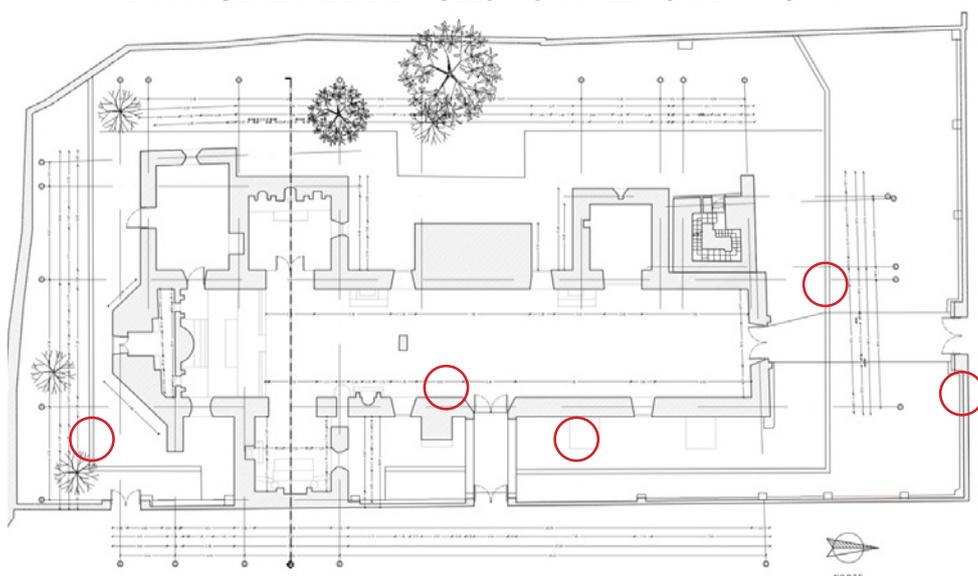
DIAGNOSTICO Y CRITERIOS DE INTERVENCIÓN

| UBICACIÓN | DAÑOS / PATOLOGIAS | DIAGNOSTICO | CAUSAS | REPARACION |
|---------------------------------------|--|---|--------------------------------------|--|
| 4 COLAPSO PARTE DEL MURO DEL ATRIO | DESPRENDIMIENTO ESTRUCTURAL DE ADOBES Y REVOQUES GRUESO Y FINO DE TIERRA | EXISTE FALLA ESTRUCTURAL PRODUCTO DE IMPACTO VEHICULAR QUE PROVOCO DESMORONAMIENTO DE MURO DE ADOBE Y SUS REVOQUES | FALTA DE ADOBES Y REVOQUES EN TIERRA | SE REALIZARA MOLDAJE A LA MISMA MEDIDA DEL ADOBE ACTUAL Y SE PROCEDERA A CORTAR ADOBE EN OBRA, SE REALIZARA LA ESTRUCTURACION DEL MURO Y SE PROCEDERA A REALIZAR REVOQUE GRUESO Y FINO |
| 5 CANALES | SUCIEDAD Y ESTANCAMIENTO DE MATERIAL VEGETAL | EXISTE ESTANCAMIENTO DE MATERIAL VEGETAL EN CANAL QUE SE ENCUENTRA EN PERIMTRO DE LA IGLESIA | FALTA DE MANTENCION | SE REALIZARA LIMPIEZA RETIRANDO SEDIMENTOS ACUMULADOS |
| 6 PAVIMENTO HUEVILLO | DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL PIEDRA Y CEMENTO | EXISTE DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL PIEDRA Y CEMENTO DEBIDO A EXCESO DE HUMEDAD PRODUCTO DE LLUVIAS Y ACUMULACION DE AGUA POR ESTANCAMIENTO DE CANAL | FALTA DE MANTENCION | SE REALIZARA LIMPIEZA Y RESTAURACION DE PAVIMENTO DAÑADO |



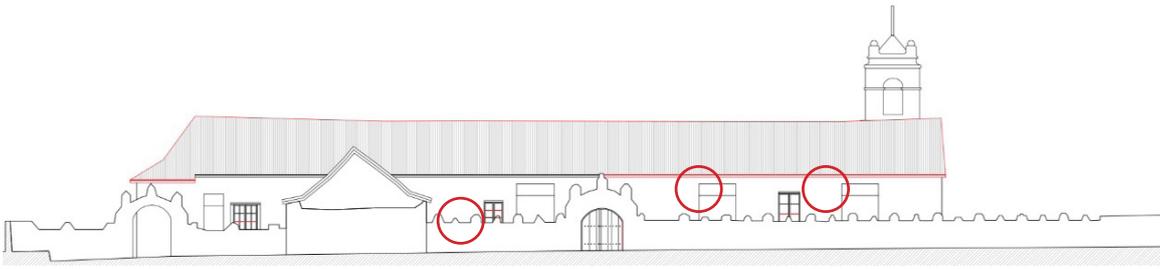
MASTIERRA
CONSTRUCCIÓN & RESTAURACIÓN

PLANTA GENERAL DE LA IGLESIA SAN PEDRO DE ATACAMA

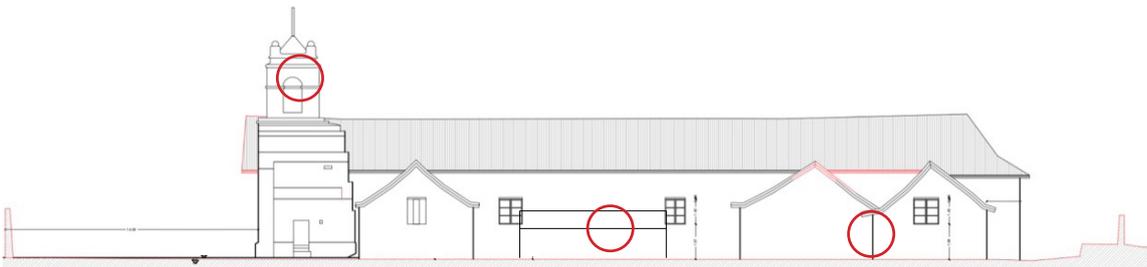


MASTIERRA
CONSTRUCCIÓN & RESTAURACIÓN

FACHADA ESTE



FACHADA OESTE



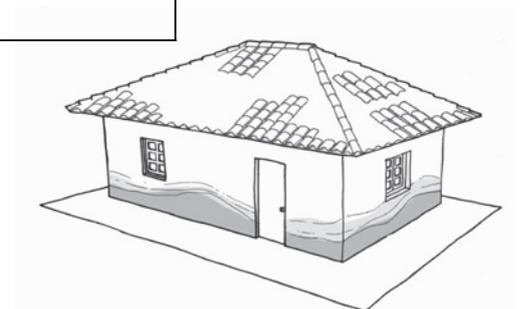
FACHADA NORTE



LEYES DEL MATERIAL TIERRA

| ELEMENTO | FORMA | FUNCION |
|-------------------------------|---|--|
| ALERO | DEBEN SER DE 70CM, MISMO MATERIAL DE TECHUMBRE | PROTECCION DE FUTUROS PROBLEMAS EN LA ESTRUCTURA |
| ZOCALO | DEBEN SER DE 70CM, A LA CAL, PIEDRA U CEMENTICIO | |
| DISTANCIA DE AGENTES BIOTICOS | DEPENDIENDO DEL TIPO, DISTANCIAMIENTO MINIMO 2MT | |
| DISTANCIA DE HUMEDAD | DISTANCIAMIENTO MINIMO 3MT | |
| IMPERMEABILIZACION | ELEMENTO NATURAL AGLUTINANTE O PORO ABIERTO | |
| MANTENCION | DEPENDIENDO DE LA ZONA, 1 VEZ AL AÑO ACOMPAÑADO DE ESPECIALISTA | |

T
I
E
R
R
A



USOS DE LA CAL

La cal es un mineral cuya materia prima es el Calcio, como lo es para el Yeso. Pero en la Cal el Calcio se une a la molécula de oxígeno que es lo que se llama Cal Viva.

Se convierte en Cal apagada cuando se hidrata, que es lo mismo que añadir agua.

USOS DE LA CAL

La Cal se ha usado en Pinturas

Los egipcios usaron la cal en sus construcciones y en las terminaciones de Las Pirámides.

Los frescos del Vaticano fueron hechos sobre morteros de Cal.

Desde la antigüedad se ha usado la cal: Los Fenicios, Los Egipcios, Los Griegos, Los Romanos, En el Renacimiento hasta nuestros tiempos la Cal ha estado presente en nuestras construcciones.

BENEFICIOS

- Favorece condiciones de fraguado

!- Base ideal para construcciones permitiendo disminución de la humedad y respiración de las paredes (poro abierto = mismo estado de la tierra)

!- Actúa de unión en capas de estucos

PROPIEDADES

- Fraguado rápido

!- Permite el movimiento y la expansión térmica (flexible)

ISO : Revestimientos exteriores e interiores

Los morteros para revestimientos exteriores ideal en base de cal hidráulica, ya que tiene la mayor resistencia mecánica, a mayor impermeabilidad y la mejor resistencia a agresiones ambientales así como influencias acuosas.

Los revestimientos interiores podrían ser compuestos de un revestimiento base de mortero de cal hidráulica natural y un acabado fino a base de mortero de cal aérea, sin o con pigmento lo que en su totalidad es un estuco de cal.



USOS DE LA CAL



CULTURAS CONSTRUCTIVAS ATACAMENAS



