



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**

Facultad
de Ingeniería
& Ciencias





Estimados Lectores:

“Producir conocimiento aplicable, fomentar la innovación, formar y reciclar profesionales cualificados a lo largo de la vida, valorizar la investigación y fomentar proyectos emprendedores con organizaciones o empresas del ámbito público o privado, son acciones relevantes de la tercera misión de las universidades.

Por ello, es que resulta de gran valor para nuestro quehacer universitario, el trabajo que realiza el Departamento de Ingeniería de Obras Civiles de nuestra Universidad, a través de la continuidad de su revista RIOC.

Al igual que en sus ediciones anteriores, esta nueva edición evidencia la generación de importantes lazos que han permitido establecer las bases para el desarrollo de actividades colaborativas y conjuntas en áreas específicas como la construcción y medioambiente.

Sin duda, esta colaboración en el ámbito de la generación y transmisión de conocimiento se constituye como una valiosa oportunidad, tanto para estudiantes como para investigadores y académicos de nuestra Facultad, de contribuir al desarrollo de la región y país.

Instamos a continuar fortaleciendo iniciativas como estas, que dan cuenta del resultado de acciones concretas en materia de extensión académica y del trabajo que se viene realizando, de manera sostenida, en investigación básica y aplicada”.

Mg. Ruth Novoa Troquián

Directora Vinculación con el Medio
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Universidad de La Frontera



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles
Facultad de Ingeniería
& Ciencias



RIOC es una revista de carácter científico- tecnológico que proporciona un foro nacional e internacional para la difusión de la investigación y desarrollo en todos los ámbitos relacionados con la construcción, entendiéndose áreas como materiales de construcción, ciencias de la ingeniería aplicada, arquitectura, edificación, obras civiles, gestión de proyectos, entre otras.

En un momento en que existe una gran necesidad por estar continuamente actualizados en todos los profesionales del área de la construcción para optimizar el uso de recursos, utilizar nuevas tecnologías que sean sustentables y eficientes, y a su vez, emplear nuevos métodos de construcción y materiales, RIOC proporciona un espacio para compartir y divulgar conocimientos, de manera tal, de abrir la discusión en estas temáticas planteadas, entregando información esencial que ayudará a mejorar la eficiencia, la productividad y la competitividad en los profesionales del área de la construcción. Por lo tanto, es una lectura esencial para proporcionar a los profesionales del área, académicos y alumnos que trabajan e investigan en este campo, un material de discusión que renueve y actualice sus conocimientos.

En este contexto, RIOC hace extensiva la invitación a todos los interesados a publicar sus artículos con la finalidad de divulgar la producción científica- tecnológica de académicos, investigadores, profesionales y estudiantes en temas relacionados con el desarrollo del área de la construcción.

Comité Editorial Asociado
Revista Ingeniería de Obras Civiles
Universidad de La Frontera



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles
Facultad de Ingeniería
& Ciencias



Director

Gonzalo Valdez

Editora Responsable

Viviana Letelier

Editores Asociados

Daphne Bormann

Javier Olhoagaray

Alejandra Calabi

Bernardo Valdebenito

Revista Ingeniería de Obras Civiles

Avda. Francisco Salazar 01145

Temuco

Región de la Araucanía

Chile

Departamento de
Ingeniería de Obras Civiles
Universidad de la Frontera

Fono:

+ 56 (45) 2325680

Fax

+56 (45) 2325688

Correo Electrónico:

rioc@ufrontera.cl

ISSN 0719- 0514

Comité Editorial

Ph.D. Tatiana Amaral

Universidade Federal de Goiás, Brasil.

Ph.D. Adriana Martínez

Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

MSc. Carlos Aguirre

Escuela de Construcción Civil, Universidad Católica de Chile,
Santiago, Chile.

Ph.D. Galo Valdebenito,

Instituto de Obras Civiles, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Gonzalo Valdés,

Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera,
Temuco, Chile.

Ph.D. Mario Salazar,

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana,
Morelia, México.

Ph.D. Oscar Link,

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción,
Concepción, Chile.

Ph.D. Oscar Reyes,

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada,
Bogotá, Colombia.

MSc. Ramón Botella,

Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Ph.D. Virginia Vásquez,

Departamento de Arquitectura, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Viviana Letelier,

Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera,
Temuco, Chile.

Ph.D. Alejandra Calabi,

Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera,
Temuco, Chile.



Sumario

09. Efectos de la canalización y rectificación de cauces en la calidad del hábitat del salmón Chinook durante las etapas de desove y juvenil

Effects of reach channelization and straightening on the habitat quality for Chinook salmon at spawning and juvenile stages

Monsalve Angel, Tonina Daniele

18. Evaluación del Plan de Reacondicionamiento Térmico en Temuco y Padre Las Casas

Thermal Reconditioning Plan Evaluation in Temuco and Padre Las Casas

Cárdenas J. P., Araneda C., Beaumont J.C.

26. Éxito de los ensayos acelerados a escala natural en Costa Rica

Successful of Accelerated Tests on Natural Scale in Costa Rica

*Loría Luis Guillermo, Aguiar José Pablo,
Leiva Paulina, Leiva Fabricio*

32. Análisis de Mitigación Estructural de Lahares en el Poblado de Melipeuco, Derivados del Volcán Llaima, Chile, Valor de la Ciencia Mapuche, de la Observación Permanente.

Structural Mitigation Analysis lahars in the Melipeuco Town, Derivatives Llaima Volcano – Chile, Value of Mapuche Science, Permanent Observer.

Amigo Álvaro, Silva Carolina, Saavedra Patricio

49. Efecto de la adición de cemento en hormigones con áridos reciclados

Effect of the cement addition on recycled aggregates concrete

Letelier Viviana, Osses Rodrigo, Moriconi Giacomo

Envío de artículos

Los artículos enviados a la revista RIOCI deberán ser trabajos originales que no han sido publicados previamente ni estar presentados a otra revista. Los artículos pueden ser escritos en inglés o español y deberán ser enviados en versión electrónica en formato .doc o .docx. Los artículos deberán ser subidos a través de la página web www.rioci.cl para lo cual debe registrarse y generar un envío. El artículo será enviado a evaluadores externos especialistas en los temas específicos para su revisión. El Editor podrá solicitar revisiones y correcciones antes de tomar una decisión final de aceptación o rechazo del artículo.

Formato de los artículos

El artículo deberá cumplir el formato adjunto en la WEB, en hoja tamaño carta, dos columnas de igual ancho y espaciado de 1 cm, con un margen en el lado izquierdo y derecho de 1 cm, superior de 3 cm e inferior de 2 cm. La letra del texto debe ser Calibri 10 espaciado sencillo. Los trabajos que no cumplan con el formato indicado, serán devueltos sin ser enviados al Comité Revisor.

Primera Página

Los artículos deberán tener una página de título con el nombre completo del o de los autores, su filiación y correo y número de contacto del autor principal. El título debe estar en castellano e inglés.

Resumen, abstract y palabras claves

Se deberá indicar el resumen, este no debe exceder los 1800 caracteres (con espacios) y debe resumir los aspectos claves del artículo y una síntesis de las aplicaciones y conclusiones más importantes que el artículo entrega. El abstract debe ser una traducción correcta del resumen al inglés. Se deben incluir cuatro palabras claves tanto en español como en inglés.

Contenido del artículo

El artículo debe estar bien redactado y estructurado. La estructura del artículo debe incluir como mínimo las siguientes secciones: introducción, discusión y desarrollo, y conclusiones. La introducción debe establecer claramente el propósito del trabajo. La discusión y desarrollo deberá incluir los principales resultados y observaciones del trabajo, la metodología utilizada, etc. Las conclusiones deben ser relevantes para los lectores. El formato del contenido debe cumplir la configuración de página señalada en Formato de artículo

Referencias

Las referencias deberán reducirse a las indispensables que tengan relación directa con el trabajo enviado. En cada cita se consignarán los datos en el formato APA.

Tablas y formulas

Las tablas y fórmulas (ecuaciones) deberán ser numeradas secuencialmente en el mismo orden en que aparecen en el texto y haciendo referencia a ellas como: tabla 1, tabla 2..., fórmula 1, fórmula 2.... etc., según corresponda. Estas deben ser introducidas dentro del texto en el mismo orden en que son referenciadas. En el caso de las tablas, el título debe presentarse sobre la tabla con una fuente Calibri 8, con un espaciado anterior de 6 puntos. Interlineado sencillo. Dejar un espacio tras la tabla.

Figuras

Las figuras pueden incluir gráficos, esquemas, diagramas y fotografías. Deben numerarse en forma secuencial, en el mismo orden en que son referenciadas en el texto como: figura 1, figura 2, etc., y El título debe presentarse bajo la figura con una Fuente Calibri 8, con un espaciado anterior de 6 puntos. Interlineado sencillo. Las figuras deben ajustarse al ancho de columna. En caso necesario, es posible utilizar el ancho de impresión cambiando la sección. Dejar un espacio antes de la figura.

El equipo editorial, conformado por dos profesionales del área de la Ingeniería en Construcción y el Editor, tienen la responsabilidad de recibir los artículos y emitir un primer juicio sobre los aspectos formales, además de rechazar un artículo cuando este no cumpla con las instrucciones básicas para su publicación y esté fuera de la temática de la Revista o bien no cuente con suficiente mérito científico y académico.

El Editor enviará el artículo a un evaluador externo a la entidad o institución editora de la revista especialista en el área del tema, el cual deberá realizar su evaluación de acuerdo a una pauta previamente confeccionada. Este evaluador externo deberá rechazar, aceptar o bien aceptar con distinción un artículo. En caso de rechazo se deberá fundamentar esta situación, luego el artículo será devuelto al autor con las observaciones pertinentes.

Los evaluadores deberán verificar que se cumplan todos los aspectos formales, además de comprobar que las conclusiones estén acordes con los diseños metodológicos expuestos y los objetivos planteados. Los evaluadores conocerán la identidad de los autores, pero estos desconocerán a sus evaluadores.

De existir observaciones, sean menores o medianas, y si el artículo está aceptado, el Editor se contactará con el autor para que este realice las modificaciones indicadas en un plazo prudente, una vez realizadas estas modificaciones el artículo estará en condiciones de ser publicado.

Si el artículo no es aceptado será enviado a otro árbitro; si el rechazo es confirmado, el artículo lo será definitivamente y se comunicará al autor esta decisión y se enviarán las evaluaciones correspondientes.

Si el artículo es rechazado por un evaluador y aceptado por un segundo, se enviará el artículo a su autor con las evaluaciones correspondientes, una vez que se hayan realizado las modificaciones el Comité Editorial lo incluirá nuevamente en la lista de artículo para evaluar.





Efectos de la canalización y rectificación de cauces en la calidad del hábitat del salmón Chinook durante las etapas de desove y juvenil

Effects of reach channelization and straightening on the habitat quality for Chinook salmon at spawning and juvenile stages

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Angel Monsalve¹ y Daniele Tonina¹

Historial del
artículo:

¹Center for Ecohydraulics Research, University of Idaho, Boise, Idaho, United States
Angelmonsalve@gmail.com, phone: +1-208-284-2293

Recibido
01-07-2014
Aceptado
01-09-2014
Publicado
11-11-2014

Palabras Claves:
Canalización
Índice de idoneidad
Rectificación
Salmon Chinook

Article history:

Received
01-07-2014
Accepted
01-09-2014
Available
11-11-2014

Keywords:
Channelization
Suitable index
Straightening
Chinook salmon

Resumen

La calidad del hábitat de ciertas especies en tramos específicos de ríos puede ser alterada por cualquier cambio a la morfología, condiciones hidráulicas o hidrológicas y calidad o usos del agua. Estos cambios pueden mejorar, empeorar o no tener ningún efecto en la idoneidad del hábitat de esta especie en cierto momento de su vida. Una evaluación adecuada de los posibles efectos que diferentes escenarios, en un proyecto que considera modificaciones en algún tramo de río, pueden generar es necesaria para minimizar cualquier consecuencia negativa y al mismo tiempo maximizar los beneficios. En este estudio el efecto de la canalización y rectificación de un tramo del río Lehmi, ubicado en el estado de Idaho, Estados Unidos, sobre la calidad del hábitat del salmón Chinook durante dos etapas de su ciclo de vida, desove y juvenil, son analizados por medio del uso de índices de idoneidad y comparación de la calidad de hábitat. La distribución espacial del flujo es obtenida usando un modelo numérico cuasi tridimensional. Nuestros resultados muestran que la idoneidad del hábitat durante la etapa de desove se reduce significativamente cuando el tramo ha sido canalizado y rectificado. Durante la etapa juvenil los tramos natural y modificado no presentan diferencias significativas. Si se considera un año completo el periodo de excedencia de la superficie ponderada útil en el tramo rectificado es prácticamente constante tanto para las etapas de desove y juvenil, sin embargo el tramo natural muestra mayor dependencia al caudal que fluye en determinado momento.

Abstract

For certain species the habitat quality in a specific reach may be modified by any change to the morphology, hydraulic and hydrological conditions, water quality and water use. These changes can improve, reduce or have little to no effect on the habitat suitability of that specie at a certain life stage. An adequate evaluation of the possible effects that different scenarios aid to minimize the negative consequences and maximize the benefits of the required or designed modification. The effect of channelization and straightening of a reach in the Lehmi River, ID, USA, on the Chinook salmon habitat quality at spawning and juvenile life stages is here studied. To evaluate the suitability indexes at these two stages and quantify the differences in habitat quality between a natural and a modified reach the flow field was obtained using a quasi three dimensional numerical model. Our results show that the suitability for spawning is significantly reduced when the reach has been channelized and straightened. At juvenile stage the natural and modified reaches do not display significant differences. During a year-round period the exceedance time of the weighted usable area at the straightened reach is almost constant for both spawning and juvenile stages, however the natural reach seems to be more dependent on the discharge.

1. Introduction

To sustain a viable long-term population suitable environmental conditions and resources must be available in form of quantity, quality and timing (Statzner et al. 1988 [1]). These conditions are dependent of multiple variables such as river hydrological properties, hydraulics (e.g. water depth, velocity, and shear stress), water quality (e.g. pH, temperature, and salinity), topography, morphology, bed texture and the presence of roughness element (e.g. large woody debris and large boulders). All of them interact in different ways creating a temporally and spatially variable template that defines the suitability and environmental conditions necessary for species survival at different life stages. A quantitative description of the linkage between physical attributes and their fitness for a certain species is commonly done by means of the habitat suitability criteria or habitat requirements. Any change to the current reach conditions can result in an improvement, deterioration, or have little to no effect in the habitat suitability. For instance construction of hydraulic structures such as bridges and dams can interrupt migration routes, change water depth and velocity, enhance or reduce sediment transport fluxes and alter the bed substrate which changes the natural habitat of different species. Another common river engineering project that alters significantly river properties is the channelization and straightening of a certain reach for flood control, recreation or urbanization. It is difficult to know a priori the effect of any modification and how this will affect a certain species, or even more, habitat requirements changes at different life stages so the definition of the species of interest and the required habitat must be well defined and also must be considered during early stages of any project. To assess the potential effects on any modification project numerical simulations and habitat suitability studies are used (see for example: Shirvell, 1989 [2]; Ghanem et al, 1996; Bradford and Higgins, 2001) because they offer the possibility to simulate several different scenarios including diverse geometries and boundary conditions and also because they are relatively more economical and fast than laboratory experiments. A spatial description of the flow field can be obtained using these techniques and several different scenarios can be analyzed to achieve the desired goal.

Here the effect of the channelization and straightening of a reach on the habitat quality at spawning and juvenile stages for the Chinook salmon is studied using habitat suitability criteria and a quasi 3D hydrodynamic model (FaSTMECH, Nelson et al, 2003). Comparisons of the weighted usable area (WUA) and hydraulic habitat suitability (HHS) of a natural reach with the modified one are presented and differences in habitat quality are described when these morphological changes are implemented.

2. Study Site

In this study we compare the changes in habitat quality for the Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) at two reaches at the Lemhi River, Idaho, USA. The Lemhi River is 90.3 km long and 0.00067 slope. It flows through a mountain valley into the Salmon River (Figure 1). Site 3 is an 87.5 m long, 16 m width channelized and straightened reach located at UTM 12 T 292683.7 m E, 4971250.2 m N. Site 4 is a 225.5m long, 11 m width natural reach located at UTM 12 T 303715.4 m E, 4958449.3 m N.



Figure 1: Location of the study reaches

Detailed topographic measurements at a density of about 1 point/0.25 m² (Figure 2), median bed grain size spatial distribution, water surface elevation and the corresponding discharge (Q) were collected and are available for both sites. This information is later used to calibrate a quasi 3D flow numerical model.

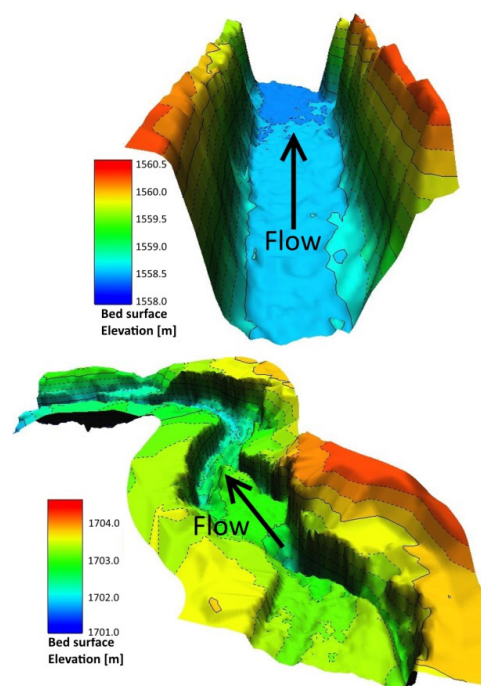


Figure 2: Bed Surface elevation at both sites. Vertical scale was amplified 10 times to have a better perspective

3. Methods

The habitat quality for the Chinook salmon is compared at these two reaches at two different life stages: Spawning and juvenile. For this purpose, the weighted usable area (WUA) and the hydraulic habitat suitability (HHS) are used as reference. To obtain the WUA and HHS two complementary techniques are used here. The hydraulic properties, water depth and velocity, of both reaches, are calculated using the quasi 3D numerical model FaSTMECH (Flow and Sediment Transport and Morphological Evolution of Channels) which was developed by the U.S. Geological Survey (Nelson and McDonald, 1995). The model solves the full vertically averaged and Reynolds-averaged momentum. The vertically averaged equations are cast in a channel-fitted coordinate system. To calculate the depth-averaged solution the model assumes steady, hydrostatic flow and models turbulence with an isotropic eddy viscosity. The momentum equations are solved over a curvilinear orthogonal finite difference grid, which in this case is 0.5 m in both x and y direction at both reaches. Once the spatial distributions of velocity and water depth are obtained a spatial distribution of habitat suitability is calculated using suitability curves based on the bed median grain size (D_{50}) and these two variables (water depth and velocity). Suitability curves were obtained from literature reports (Figure 3). Combined preferences are obtained using the geometric mean methods as are further described later.

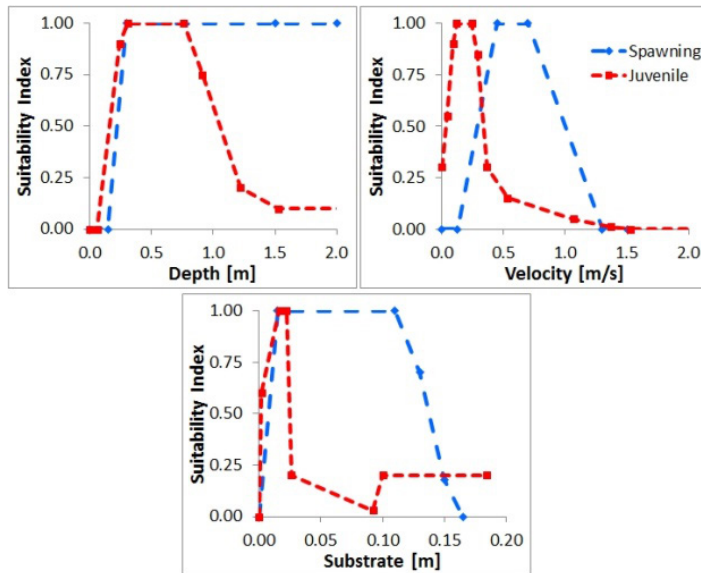


Figure 3: Suitability index for spawning (From Shirvell, 1989 [2]; USFWS curve) and juvenile (From Raleigh et al, 1986) life stages.

The process to obtain the WUA and HHS curves can be summarized in the following steps: a) Calibration of bed roughness as function of the roughness height (Z_0), b) Calibration of the lateral eddy viscosity coefficient (ϵ), c) Using the calibrated roughness height re-calibration of ϵ for the different discharges, d) Calculation of the spatial distribution of the suitability indexes for water depth, velocity and substrate and e) Calculation of the WUA and HHS curves. These steps are performed for both sites and are explained in detail below.

Z_0 was calibrated by matching the model predicted water surface elevation to the measured water surface profile. First, at Site 3, we provided the model a constant discharge upstream boundary condition of 3.3 m³/s, a constant downstream water surface elevation of 1558.56 m and, at Site 4, a constant discharge upstream boundary condition of 1.77 m³/s and a constant downstream water surface elevation of 1702.11. These values correspond to measured values at the time when the topography of both places was obtained. At both sites the lateral eddy viscosity, for the first simulation, was constant and equal to 0.005 m²/s. A Constant drag coefficient was first used. The coefficient was selected to minimize the root mean square error (RMSE) of the predicted vs measured water surface elevation and manually changed until the RMSE was within 3 cm. Once this was achieved a spatially variable roughness, function of the computed flow depth from constant roughness conditions and the local D_{50} , was used.

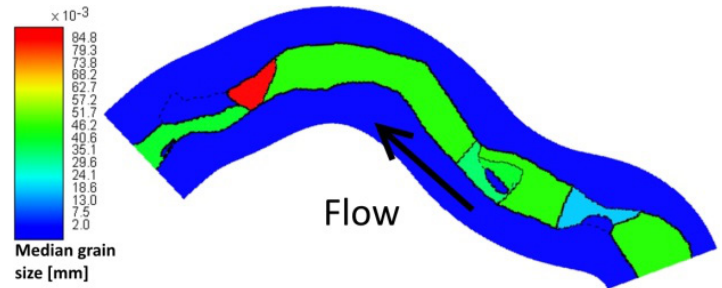


Figure 4: Median grain size spatial distribution at Site 4

The roughness height was adjusted by changing the coefficient C at 1 until the predicted vs measured water surface elevation RMSE was again lower than 3 cm.

$$Z_0 = C \cdot D_{50} \quad \text{Eq. 1}$$

Once Z_0 was calibrated the ϵ was checked for consistency using 2

$$n = 0.011 \cdot U \cdot H \quad \text{Eq. 2}$$

where $\bar{v}$ is the reach averaged velocity and $\bar{h}$ is the reach averaged water depth. $\bar{v}$ was found to be correct if the difference between its value between subsequent simulations was lower than 3%. The RMSE change cross-sectional mass conservation was checked to ensure that it reached a stable value for more than 500 iterations and also the percent deviation from normalized discharge is lower than 3% in every cross section.

Once the model was calibrated four discharges at each site were simulated. These discharges represent a simplified version of the period Jul/2011 – Jun/2012 hydrograph and correspond to 100, 200, 300 and 400 cfs measured at the USGS gage 13305000 Lemhi River Nr Lemhi ID (5). At Site 4, which is upstream Site 3, the discharges were corrected to account for the existent sources between both sites.

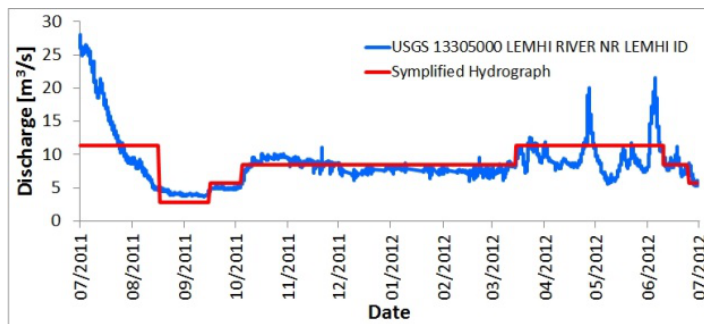


Figure 5: Measured and simulated hydrograph

For each site and discharge the spatial distributions of water depth, velocity and substrate were used to calculate, in each cell, the Suitability Index of the numerical domain. The suitability index can be understood as a quantification of the likelihood of a specie to use a certain spot or if a certain place meets the habitat requirement at certain life stage. To account for these three physical variables simultaneously (water depth, velocity and substrate) a combined preference was used. Using a weighted product the combined preference is (3):

$$SI_i = \sqrt[3]{SI_{H_i} \cdot SI_{U_i} \cdot SI_{D50_i}} \quad \text{Eq. 3}$$

where SI_i is the suitability index for water depth at the cell i , SI_{H_i} the suitability index for velocity and SI_{D50_i} the suitability index for the median grain size or substrate. The weighted usable (WUA) is calculated with:

$$WUA = \sum_{i=1}^m A_i \cdot SI_i \quad \text{Eq. 4}$$

where A_i is the area of the cell and m the number of cell of the numerical domain. The Hydraulic habitat suitability (SI) is the ratio of the WUA to the wetted area. By normalizing by the wetted area the SI gives a better index for habitat quality comparisons between sites because it is no longer a function of the extent of the considered reach.

4. Results

At Site 3 the calibrated simulation has a RMSE for predicted vs measured water surface of 2.5 cm (Figure 6), the average drag coefficient is about 0.019 ranging from 0.02 to 0.120, coefficient of friction is 0.1 and 0.0021 m²/s. At Site 4 the RMSE for predicted vs measured water surface is 2.2 cm, the average drag coefficient is about 0.043 ranging from 0.008 to 0.20, coefficient of friction is 0.08 and 0.0015 m²/s.

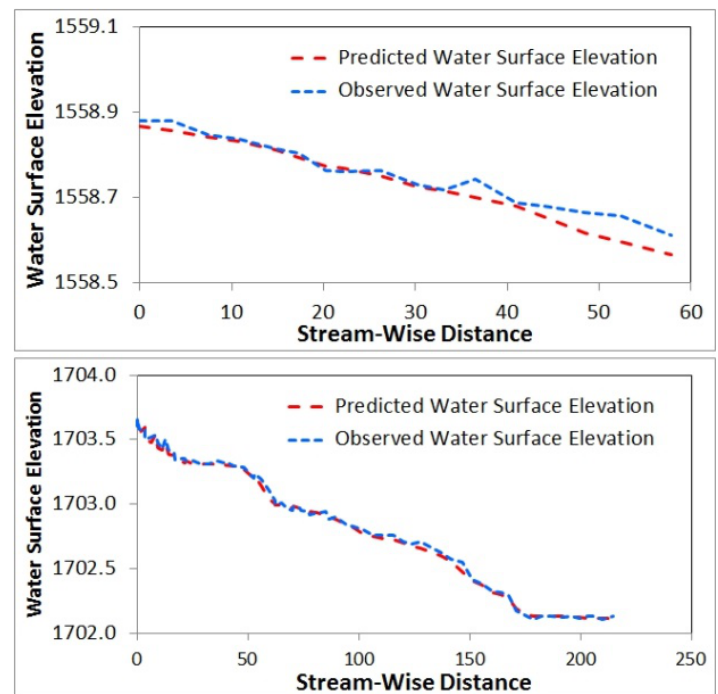


Figure 6: Calibrated result for observed vs predicted water. Vertical and horizontal scales are in [m]

Using the calibrated results the four simulated scenarios at each site are summarized at Table 1

Site 3			Site 4		
Q	h_d	n	Q	h_d	n
[m ³ /s]	[m]	[m ² /s]	[m ³ /s]	[m]	[m ² /s]
2.8	1558.58	0.0018	1.5	1702.11	0.0014
5.0	1558.68	0.0030	2.7	1702.20	0.0021
8.5	1558.80	0.0048	4.5	1702.35	0.0025
11.3	1558.88	0.0066	6.0	1702.55	0.0027

h_d : Downstream water surface elevation

Table 1: Lateral eddy viscosity coefficient for the simulated scenarios at both sites

The quasi 3D numerical model, FaSTMECH, used to calculate the spatial distribution of the physical variables, water depth and velocity gives the result of these variables in each node of the numerical domain. The calculations of h_d and n are based on grid areas, so one problem arises when one or more nodes are dry. If at least one node is dry, over that area the depth or velocity cannot be defined as the average of these 4 nodes values, but it can be considered as the average of those values that are wet. To account for the fact that only wet nodes are being considered in calculations of the wetted area, the area of each cell (which originally was defined by four nodes) is reduced in a percentage equivalent to the number of dry nodes, so if two nodes are dry the wetted area will be 0.5 times the area defined by the 4 original vertices (7)

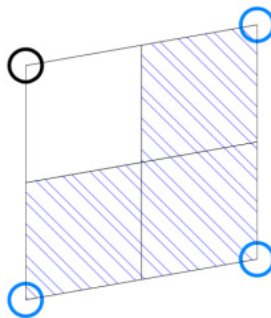


Figure 7: Wetted area calculation for cells that have one or more dry cells. Blue circles represent wetted nodes, black circles are dry nodes. The wetted area is reduced to $\frac{1}{4}$ times the original area as shown in blue lines.

Results for spawning stage at both sites are shown at 8

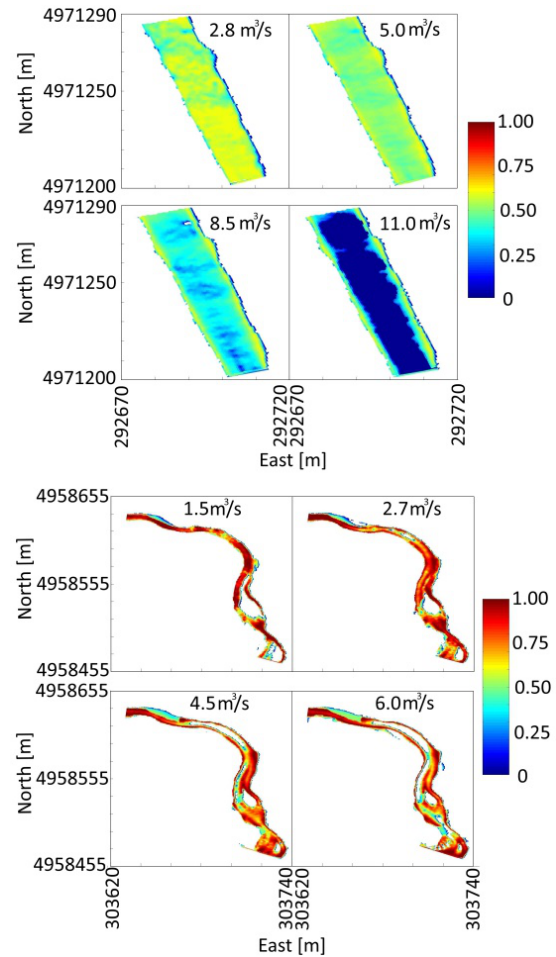


Figure 8: Suitability index for spawning stage at Site 3 (upper) and Site 4 (lower)

For these two site the h_d and n are summarized at 9

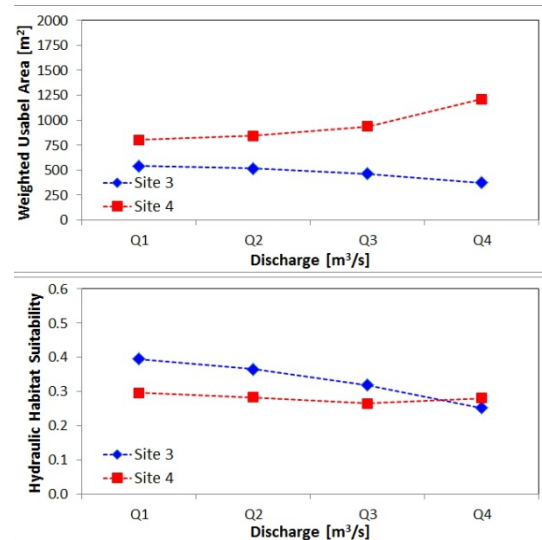


Figure 9: Weighted usable area and hydraulic habitat suitability for both sites during spawning stage. The discharge shown at the horizontal axes corresponds to 100, 200, 300 and 400 cfs at each site.

The is significantly larger at site 4 mainly because the area covered by this site is also larger. In this case the is more suitable to compare different the different reaches. As the discharge increases the at Site 4 also increases, the opposite trend is found at Site 3. The is always higher at Site 4, the maximum is about 0.57 and after this value it starts to decrease as the discharge increases. At Site 3 an increase in the discharge always makes the to decrease.

Results for spawning stage at both sites are shown at Figure 10

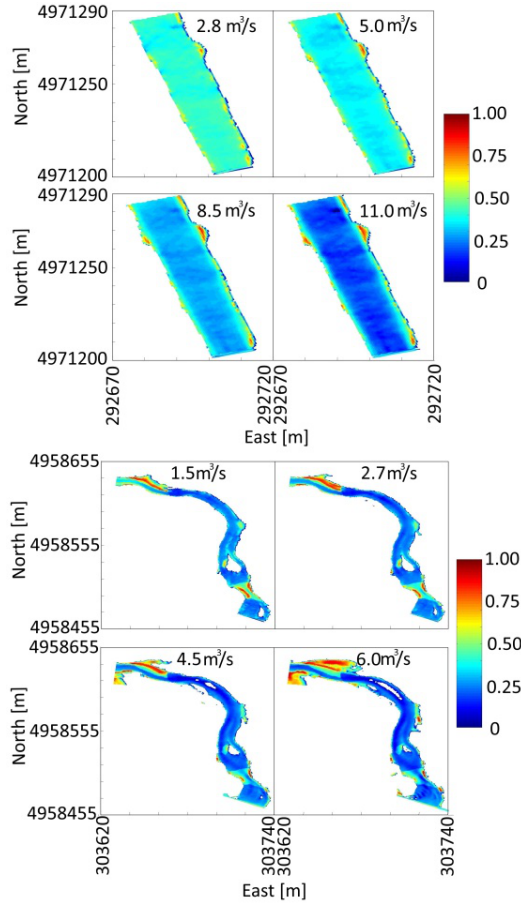
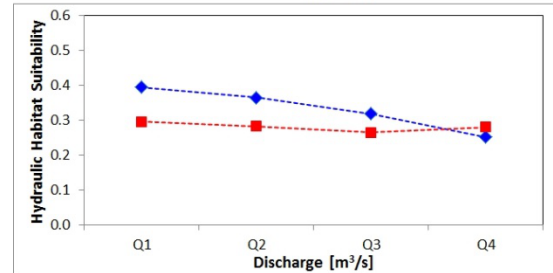
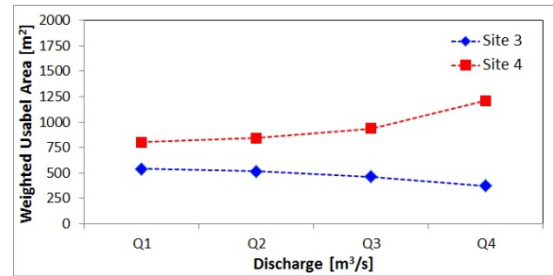


Figure 10: Suitability index for juvenile stage at Site 3 (upper) and Site 4 (lower)

For these two site the and are summarized at



11

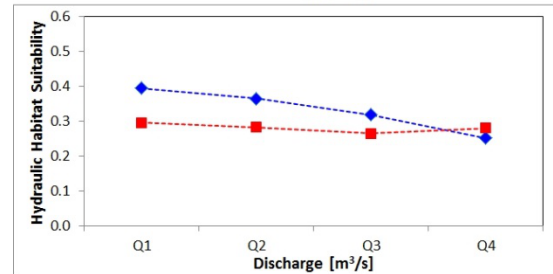
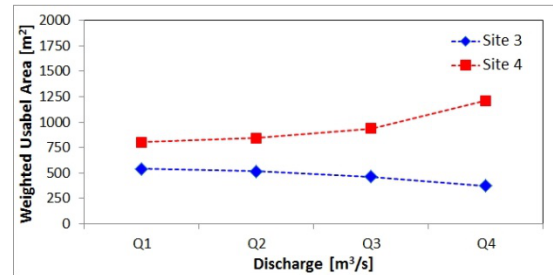


Figure 11: Weighted usable area and hydraulic habitat suitability for both sites during juvenile stage.

The weighted usable area is again larger at Site 4, however compared to spawning stage now it has been reduced. At Site 3 the is almost constant, with a minor decreasing, and the is slightly deteriorated as the discharge increases (Figures 11 and 12). Both sites show a very similar but noticeable lower compared to the spawning stage for the three first discharges.

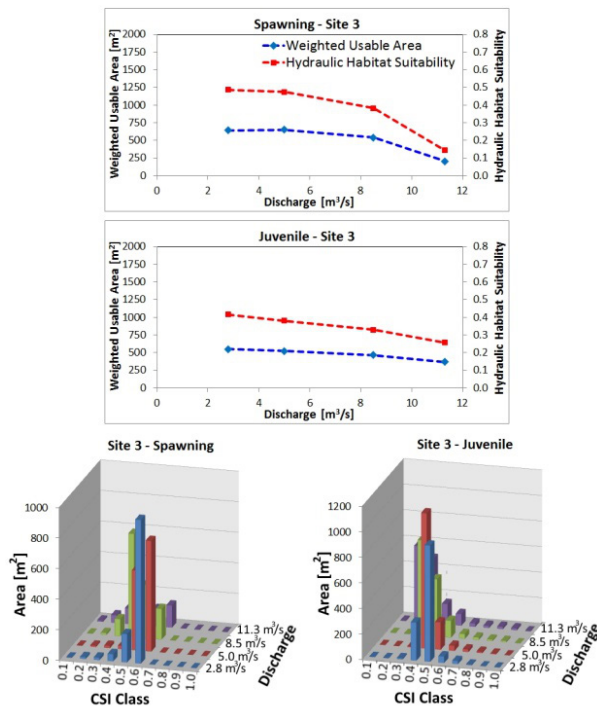


Figure 12: From the top to the bottom: and for both stages and area occupied by each CSI class for each simulated discharge at Site 3

At Site 3 most of the area is clustered around 0.3-0.5 for both stages. Almost no area has a suitability index higher than 0.7. Differences of for Site 4 are shown at

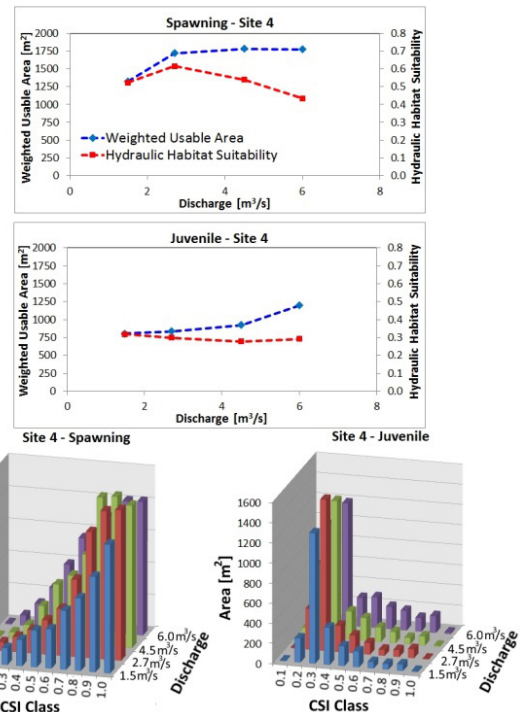


Figure 13: (Above) and for both stages at Site 4, (below) area occupied by each CSI class for each simulated discharge

It can be observed that for spawning stage the CSI class is skewed toward the higher values and in a consistent trend though all the different discharges, however the shows that the habitat quality gets worse as the discharge increases. At the Juvenile stages they are clustered on the lower values, with single peak values of area around the 0.3 for all discharges. The remains almost constant for this stage.

If the habitat quality, in terms of the , is analyzed at both sites (14), it is possible to see that, for both stages, at Site 3 it remains almost constant for almost the whole the year. During more than the 60% of the year it is possible to found more than 500 m2 of good quality habitat. At Site 4, for spawning purposes, almost 95% of a year (more than 11 months) there is close to 1750 m2 of god quality habitat. Caution must be taken when this data is analyzed, because even when the appropriate conditions or a high weighted usable area can be found, fishes may not be present at that moment.

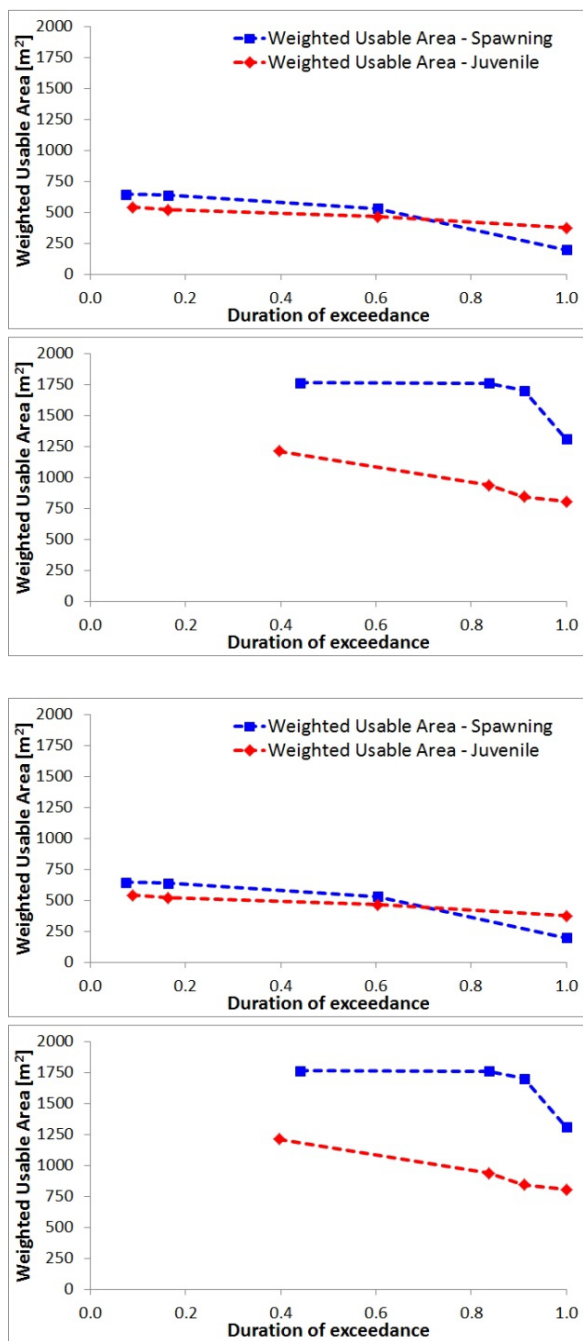


Figure 14: Percentage of exceedance of a certain area during a complete year for Site 3 (upper) and Site 4 (lower)

5. Discussion

The results shown here suggests that based on the for the spawning stage Site 4 has a better habitat quality while for juvenile stage the difference is reduced significantly. For this reason the channelization and straightening of a certain reach, under the conditions available at the Lemhi River, reduced the likelihood to meet

the habitat requirements for Chinook salmon while they are spawning. This doesn't mean that they will not spawn there, but in a natural reach is likely easier to find a place to do it. A quasi 3D numerical model was used to estimate the spatial distribution of velocity and water depth, which are the predictor variables for calculations of the and curves. The calibration performed based on RMSE of measured vs predicted water surface elevation ensures that the model is adequately capturing the hydraulics of the river at these reaches.

A sensitive analysis on the mesh and grid size would be beneficial to understand the dependence of the solution on these conditions, however, the strict criterion used to simulate each discharge (at least 500 iterations on a stable value of RMSE change cross-sectional mass conservation, less than 3% deviation from normalized discharge and less than 3% in change on the lateral eddy viscosity in subsequent simulations) ensures with a high degree of certainty that the solutions are correct.

One vital element for this study is an adequate selection of the SI curves (Figure 3). The curves used here correspond to Category 1, which are curves obtained from literature. Selection of different SI curves may affect the final result or individual and HHU curves. For instance just by changing the given SI curve for velocity for spawning stage by the one suggested by Nechako (Shirvell, 1989 [2]) the estimated habitat quality changes significantly as shown at Figure 15. The trends remains pretty similar, but the values are consistently lower for all discharges.

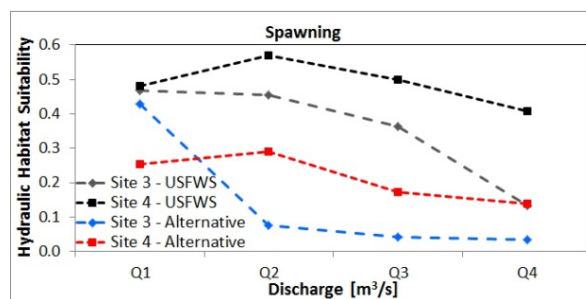


Figure 15: Changes in curves due to the use of a different SI curve for velocity. Grey and black lines correspond to those value reported at Figure 12 and Figure 13

The present study uses three variables to define the habitat quality, expressed here as the . In addition to them other variables, such as water temperature or level of late summer nitrate-nitrogen, could be also considered as predictors. Another assumption used here is the use of a weighted product, which means that identical weights are assigned to each variable. This assumption could generate different values of if another method were used to obtain the combined preference. To be consistent in the present study, all the calculations were performed using the same methods (only weighted product). By doing so, comparisons between the reaches are more reliable.



6. Conclusion

A comparison of the habitat quality, expressed here as the hydraulic habitat suitability, for the Chinook salmon between a natural and a channelized and straightened reach was presented in this study. In the analysis two different stages were considered: Spawning and juvenile. Spatial distributions of water depth and velocity were obtained using a quasi 3D numerical model and a simplified hydrograph of the discharge at the Lemhi River, ID, was used to account for the changes during a complete year. The results show that the natural reach presents better habitat quality than the straightened one for the spawning stage. was significantly larger at site 4, the natural reach, mainly because the area covered by this site is also larger. The use of the is, in this case, more suitable for comparison purposes. At spawning stage, as the discharge increases the at Site 4 also increases, the opposite trend is found at Site 3, the channelized reach, were also 3 the always decreases as discharge gets higher. The at Site 4 is lower than at Site 3 for the juvenile stage. At Site 3, for juvenile stage, both the and remains almost constant for the whole discharges range. Both sites show a very similar for all discharges but noticeable lower compared to the spawning stage for the three first discharges. As the discharge increases decreases for Site 3. The results are sensitive to the suitability indexes curves chosen for the calculation. The selection of the curves must be carefully done and must be consistent through all the study. Slight changes in the curves produce significant changes in the results of.

7. References

[1] Statzner B, Gore JA, Resh VH. 1988. Hydraulic Stream Ecology: observed Patterns and Potential Applications. J. North American Benthological Society 7:307-360.

[2] Shirvell CS. 1989. Ability of PHABSIM to predict Chinook salmon spawning habitat. Regulated rivers: Research & Management. 3(1):277-289.

Bradford MJ , Higgins PS. 2001. Habitat-, season-, and size-specific variation in diel activity patterns of juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*). Can. J. Fish. Aquat. Sci 58:365-374.

Ghanem A, Steffler P, Hicks F. 1996. Two-dimensional hydraulic simulation of physical habitat conditions in flowing streams. Regulated Rivers: Research & Management 12:185–200.

Nelson JM , McDonald RR. 1995. Mechanics and modeling of flow and bed evolution in lateral separation eddies. Flagstaff, Arizona, USA: U.S. Geol. Surv. Report, 39 pp., Grand Canyon Monit. and Res. Cent.

Nelson JM, Bennett JP, Wiele SM. 2003. Flow and Sediment Transport Modeling, Chapter 18. In: Kondolph M. and Piegay H. editors. Tools in Geomorphology. Chichester, England: Wiley and Sons. p 539-576.

Raleigh RF, Miller WJ, Nelson PC. 1986. Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: chinook salmon, U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report. 82. (10.122). 64 pp.



Evaluación del Plan de Reacondicionamiento Térmico en Temuco y Padre Las Casas

Thermal Reconditioning Plan Evaluation in Temuco and Padre Las Casas

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del
artículo:

Recibido
12-06-2014
Aceptado
28-07-2014
Publicado
10-11-2014

Palabras Claves:
Demanda
energética,
reacondiciona-
miento
térmico,
MP10, Chile

Article history:

Received
12-06-2014
Accepted
28-07-2014
Available
10-11-2014

Keywords:
Energy
demand,
thermal
reconditioning,
PM10, Chile.

J. P. Cárdenas¹, C. Araneda², J.C. Beaumont³

¹ Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Doctorado en Ingeniería, UFRO, Chile.

E-mail: juanpablo.cardenas@ufro.cl

² Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, UFRO, Chile. E-mail: caraneda@ufro.cl

³ Departamento de Ingeniería Mecánica, UFRO, Chile. E-mail: j.beaumont01@ufro.cl

Resumen

Las ciudades de Temuco y Padre Las Casas en el Sur de Chile, han alcanzado altos niveles de contaminación atmosférica, principalmente debido al uso de leña para calefaccionar los hogares. Lo que ha implicado la implementación de un Plan de Descontaminación Ambiental, el cual dentro de uno de sus ejes de acción, contempla un subsidio estatal para el mejoramiento energético de viviendas que no cumplen con la norma térmica actual. La metodología empleada se basó en encuestas a los usuarios, mediciones in situ de Temperatura Interior y Exterior, mediciones de Infiltración de Aire y Termografía Infrarroja, luego con la información recopilada se estimó la disminución de demanda de energía, en cada vivienda, simulando térmicamente cada caso mediante un software computacional. Los resultados principales apuntan a la importancia de la infiltración en las viviendas, a que la solución EIFS obtuvo las mayores disminuciones de energía, reduciendo el consumo de leña y las emisiones de MP10.

Abstract

The cities of Temuco and Padre Las Casas in southern Chile, have achieved high levels of air pollution, mainly due to the use of firewood to heat homes. It has involved the implementation of a clean-up environmental Plan, which in one of its axes of action provides for a State subsidy for energy improvement of houses that do not comply with current thermal standard. The methodology used was based on surveys to users, in-situ internal and external temperature measurements, as well as measurements of infiltration of air and infrared thermography, then the information gathered to estimate the reduction in energy demand in each home, simulating heat each case by computer software. The main results point to the importance of infiltration in the energy performance of dwellings, and EIFS show it as a solution with the largest reductions of energy, decreasing fuelwood consumption and emissions of PM10.

1. Introducción

Temuco y Padre las Casas forman una conurbación ubicada en la Región de la Araucanía, 667 km al sur de Santiago, capital de Chile. Sus coordenadas geográficas son 38° 46' de latitud sur 72° 38' de longitud oeste, a 114 metros sobre el nivel del mar. En voz mapudungün (mapuche), Temuco significa "Agua de Temu", y es una de las ciudades de Chile que más ha crecido urbanamente en los últimos años. A partir de la década de los noventa, la ciudad vive un acelerado proceso de crecimiento y urbanización, e inicia un proceso de consolidación para transformarse en el principal centro de servicios del sur de Chile. El sitio de la ciudad morfológicamente corresponde a terrazas fluviales del río Cautín que se desarrollan en forma encajonada entre los cerros Ñielol (350 msnm) y Conun Huenu (360 msnm). La población de esta conurbación al 2010 se estima en 377.495 habitantes.

Con respecto al clima, estas ciudades pertenecen a una clasificación Sur Interior, esto es zona lluviosa y fría con heladas frecuentemente, veranos cortos de cuatro a cinco meses con insolación moderada. (NCh 1079, 2008). Por su parte, la leña es el combustible preferido en el sur de Chile causando altos índices de contaminación atmosférica: 5797,6 Ton MP10/año; 5390.3 Ton MP2.5/año, siendo un 92% del MP10 y sobre un 95% del MP2.5 generado por el sector residencial. (DICTUC, 2008)

Debido a estos altos índices de contaminación atmosférica se declaró a las comunas de Temuco y Padre las Casas como zonas saturadas en virtud de la ley 19400 de Bases Generales de Medio Ambiente en abril del año 2005 (D.S. No. 35 de 2005, MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA, DO 11.05.2005) y en la actualidad se está implementando un Plan de Descontaminación Ambiental (PDA), el cual dentro de uno de sus ejes de acción, contempla el mejoramiento de la envolvente térmica de viviendas construidas antes de la normativa térmica vigente desde el año 2007. Coincidiendo este escenario con el hecho de que en los últimos años se han tomado decisiones políticas por parte del Ministerio de vivienda y urbanismo (MINVU) y Ministerio de energía (MINENERGIA antes CNE-PPEE) de subsidiar medidas de eficiencia energética en viviendas de segmentos vulnerables, con el objetivo de alcanzar la norma térmica con todas sus implicancias de mejora en calidad de vida y posible disminución de la demanda en calefacción.

Es así como mediante la acción conjunta del Ministerio de Energía a través del Programa País Eficiencia Energética y Ministerio de Vivienda y Urbanismo, se generó una línea de subsidio de Reacondicionamiento Térmico de la vivienda, el cual se implementa a través del Programa de Protección al Patrimonio Familiar, Título II, Subsidio de Mejoramiento de la vivienda, puesto en marcha como plan Piloto a nivel Nacional en las comunas de Temuco y Padre las Casas durante el año 2008, extendiéndose a las comunas de la zona Cordillerana de la novena región, como: Lonquimay, Melipeuco, Curarrehue y Pucón, durante el año 2009.

En este contexto se inicia este estudio, con el propósito de medir el impacto real de este subsidio en las viviendas seleccionadas con este beneficio y con el objetivo de evaluar con indicadores objetivos, el comportamiento térmico de una muestra de viviendas, en su estado inicial y reacondicionadas, determinando grados de mejora térmica en las viviendas intervenidas y con ello, la efectividad del programa de reacondicionamiento implementado por MINVU y MINENERGIA.

2. Contexto

La aplicación del Subsidio de Reacondicionamiento térmico en las comunas de Temuco y Padre las Casas comienza el año 2008, con la implementación del subsidio en estas dos comunas de la IX Región, como medida de aporte del Ministerio de Vivienda y Urbanismo en conjunto con la Comisión Nacional de Energía al Plan de descontaminación ambiental propuesto para estas comunas. Durante el proceso de postulación y selección de comités de vivienda que optaron a este tipo de Subsidio, que se inicia durante el año 2008 y durante el año 2009 existen dos etapas diferenciadas a partir del monto de subsidio asignado para reacondicionar térmicamente las viviendas, monto del cual depende la cantidad de partidas posibles de abordar en cada tipología de vivienda.

Una Primera etapa entre el año 2008 y 2009 bajo el Decreto Supremo Nº 255, (V. y U.) de 2006 que establece un monto de hasta US\$2325 destinado al Reacondicionamiento térmico de la vivienda y US\$2325 para el mejoramiento tradicional de la vivienda. Y una segunda etapa según lo establecido en Decreto Supremo Nº 6 del 23 de Enero del año 2009, que modifica el Decreto Supremo Nº 255 (V y U) de 2006, en el artículo 6 bis, donde el monto de subsidio asignado para el reacondicionamiento térmico de viviendas puede variar desde US\$2325 hasta US\$4650, con lo cual se determina claramente la posibilidad de abordar una mayor cantidad de partidas relacionadas a la mejora térmica en cada vivienda.

Según lineamientos regionales establecidos por la Unidad de Asistencia Técnica del Programa de Protección al Patrimonio Familiar, en cuanto a criterios de intervención de partidas necesarias de mejorar térmicamente en las viviendas, se priorizó la mejora térmica de partidas de la siguiente forma:

Viviendas de madera:

1° Complejo techumbre; 2° Infiltraciones de aire; 3° Pisos ventilados; 4° Muros perimetrales; 5° Ventanas.

Viviendas de Albañilería

1° Complejo techumbre; 2° Muros perimetrales; 3° Infiltraciones de aire; 4° Pisos ventilados; 5° Ventanas.

Las viviendas en general poseen una antigüedad de 7 a 35 años, por lo cual en el caso que sea necesario cada partida intervenida compromete la mejora de la estructura en la vivienda, costo considerado dentro de la partida correspondiente. Por su parte, el grado de intervención en la mejora térmica de la envolvente en todos los casos depende de la cantidad de superficie por solución constructiva abordada.

3. Metodología

La metodología empleada se basó en mediciones in situ de Temperatura Interior y Exterior, mediciones de Infiltración de Aire y Termografía Infrarroja. Por otro lado se estimó la disminución de demanda de energía de calefacción en cada vivienda, simulando térmicamente cada caso mediante software computacional. Posteriormente se analizaron los resultados obtenidos y se estimaron los porcentajes de variación de la demanda energética antes y después de la intervención con y sin considerar la variable infiltración (esto debido a que la normativa térmica Chilena no considera la infiltración como una variable).

3.1 Selección de la muestra

Para la selección de la muestra del grupo de viviendas mejoradas térmicamente de la segunda etapa del año 2009, con reacondicionamiento Térmico de más de 50UF, hasta 80UF, a un universo de 900 viviendas organizadas en treinta y tres comités estudiando tres comités por cada selección, esto es un total de nueve comités, tomando tres viviendas por cada comité, esto es una muestra total de veinte y siete viviendas.

Los comités y las viviendas a estudiar fueron definidos por el SERVIU, luego una primera salida a terreno conjunta, considerando aspectos como orientación con respecto al norte, elementos que fueron reacondicionados, localización en el loteo y otros aspectos de particular interés para el objetivo de la evaluación energética.

3.2 Caracterización de las viviendas

La caracterización de las viviendas, se realizó mediante la información formal recopilada, esto es: Carpeta del proyecto de mejoramiento facilitada por el SERVIU con, planos, año de construcción, especificaciones técnicas, proyecto de mejoramiento.

Luego mediante una visita, se verificó la información que se poseía o en su defecto se procedió a levantarla. Para el levantamiento planimétrico se utilizó un distanciómetro digital y para la digitalización se utilizó un software CAD. Además en esta visita se levantó la ubicación geográfica y la orientación de la edificación mediante GPS, los datos geográficos fueron ingresados a una base de datos

compatible con el software Google Earth para su visualización.

3.3 Mediciones

3.3.1 Registro de variables

La temperatura del aire exterior se obtuvo durante la semana de medición de los datos horarios de dos estaciones meteorológicas propias, y de la estación Las Encinas perteneciente a la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA actualmente Ministerio del Medio Ambiente), todas ubicadas en un sector urbano de Temuco.

La temperatura superficial de las paredes se obtuvo a través de termómetro digital laser, y en caso de ser necesario, se registró mediante termocuplas con datalogger con un intervalo de una hora durante un día.

La temperatura del aire interior se registró mediante sensores de temperatura con datalogger que registran con un intervalo de una hora durante una semana en al menos dos puntos del recinto, por lo general en tres zonas de las viviendas.

La humedad relativa interior se registró mediante sensores de humedad con datalogger que registraron con un intervalo de una hora durante una semana en diferentes puntos del recinto. Por su parte, la Humedad relativa exterior se obtuvo durante la semana de medición de los datos horarios de las estaciones meteorológicas propias, o bien de la estación Las Encinas perteneciente a la CONAMA, todas ubicadas en un sector urbano de Temuco.

3.3.2 Termografía

Con los registros de temperaturas exterior e interior se confeccionó un gráfico de tiempo v/s temperatura, con el cual se determinó el horario en que se realizó la inspección termográfica, en función de las máximas diferencias de temperatura entre el exterior y el interior de la vivienda, como lo establece la Norma ASTM 1060.

3.3.3 Infiltraciones de aire

La determinación de la infiltración de las edificaciones se realizó mediante el Blower Door Test, aplicado según la norma ASTM E 779. Con este test obtuvimos información importante, la cual nos sirvió de input para la estimación dinámica de la demanda energética de la edificación.

3.4 Determinación de la percepción del usuario y condiciones de uso de la vivienda

La percepción del usuario y las condiciones de uso de la vivienda fueron levantadas mediante una encuesta donde se caracterizan las condiciones internas de uso de la vivienda, determinadas por la cantidad de personas, equipos existentes en la vivienda y su horario de actividad o uso, los hábitos y prácticas relacionados a la climatización, equipos para calefacción, horas de uso, hábitos de ventilación y algunos registros de consumo de energía históricos.

3.5 Estimación de la demanda de energía.

La estimación de la demanda de energía en régimen dinámico, se realizó a través de simulaciones con el software Design Builder™.

3.6 Instrumentos y equipos utilizados.

Para el estudio de termografía, se usó una cámara termográfica Fluke, modelo TiR. Y para el procesamiento de las imágenes se trabajó con el software Smartview. Para el análisis de infiltraciones se utilizó el equipo Door Fan Q46 de Retrotec. Para la elaboración de termogramas, se utilizó data loggers de temperatura y humedad interior, junto con datos de temperatura y humedad exterior obtenidos de los informes de SIVICA (Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire) y las estaciones meteorológicas propias.

4. Analisis de los resultados

4.1 Resultados de Infiltración

Los parámetros de infiltración fueron empleados para modelar las viviendas en su situación original y después del mejoramiento. Estos resultados permitieron obtener datos reales de infiltración de las viviendas haciendo las simulaciones, más representativas. Sin embargo al ser un parámetro no considerado en la norma los análisis fueron hechos con y sin considerar las pérdidas por infiltración. De los ensayos realizados se obtiene el grafico de renovaciones de aire naturales (4Pa) (Figura 4.1a) y el grafico de variación de infiltración entre antes y después de la mejora (Figura 4.2b)

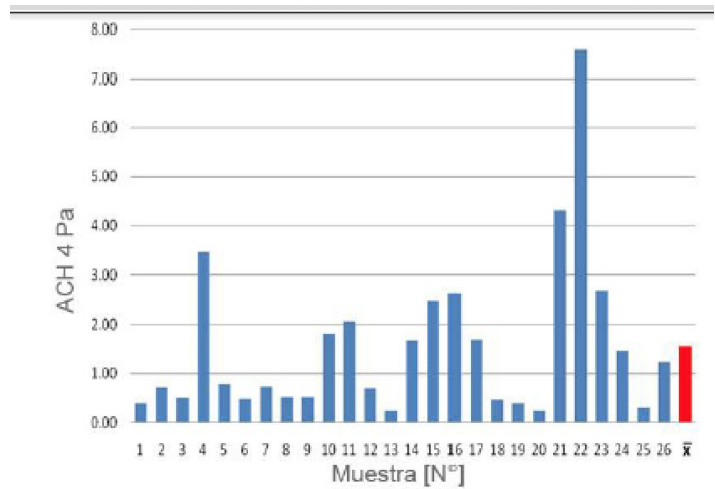


Figura 1.- Grafico de renovaciones de aire naturales a 4Pa.



Figura 4.1 – (a) Grafico de renovaciones de aire naturales a 4Pa.
(b) Grafico de % de variación en Infiltración.

Este comportamiento aleatorio tiene sentido considerando que no hay un control normativo de este parámetro, por lo cual, una mejora, se debe a un efecto indirecto de alguna medida o intervención en la envolvente de la vivienda o bien, en cambio de ventanas o puertas. Por su parte, cuando observamos porcentajes negativos, en general tienen que ver con fallas constructivas; cambio de puertas y ventanas principalmente, mientras que los casos intervenidos con sistema EIFS (Exterior Insulation and Finishing) se observó una mejora considerable, debido a la estanqueidad que presenta el sistema propia de su continuidad.

Cabe destacar que basados en la clasificación de la Norma ASHRAE 119, la mayoría de las muestras analizadas se clasifican por debajo de la peor clasificación, es decir J, pues presentan un Área Normalizada de Fuga (An) mayor a 1,6. Para lo que se propone una clasificación extendida a más letras después de la J, de modo que no se sature la escala, esto mientras no se tengan los datos para establecer una escala propia.

Ahora bien, es importante observar que el porcentaje de mejora es solo una referencia ya que el valor de renovaciones de aire antes de la intervención mostrado en la figura 4.1a indica si este es una

variable importante dentro del comportamiento energético de la vivienda y si este porcentaje de variación fue influyente en la intervención.

4.2. Resultados de simulaciones

4.2.1 Demanda de energía anual estimada

La Demanda de Energía Anual Estimada, Antes y Después del mejoramiento de las viviendas (Figura 4.2) muestra que el 100% de los casos de estudio se perciben mejoras, considerando y sin considerar la variable de infiltración.

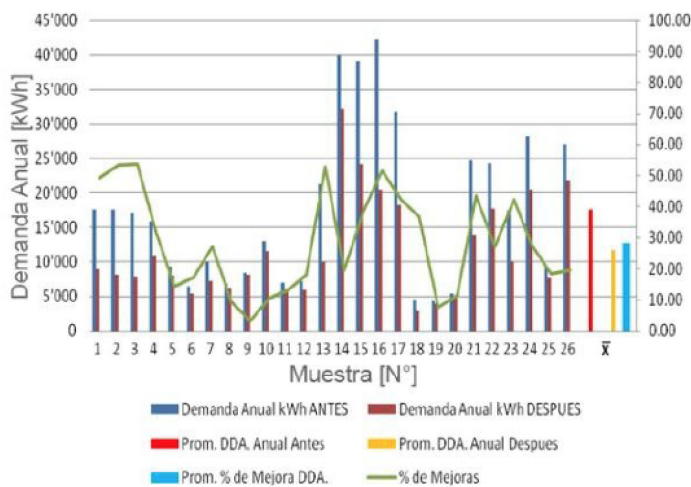


Figura 3 Gráfico de demandas anuales antes y después y porcentaje de mejora considerando infiltración [Kwh/año]

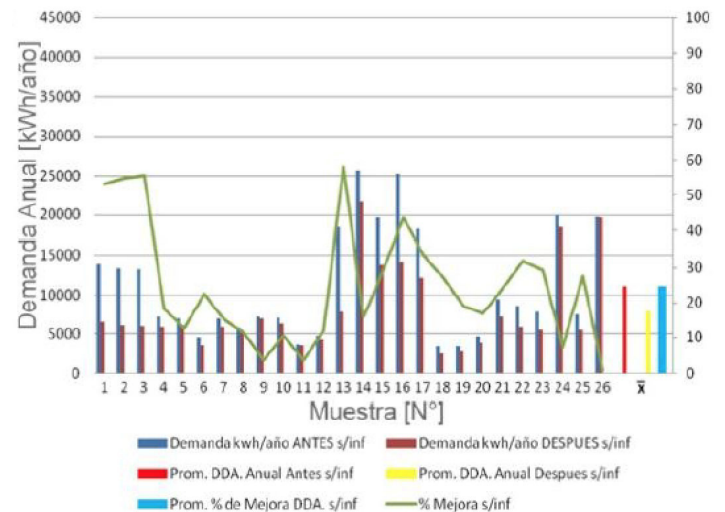


Figura 4 Gráfico de demandas anuales antes y después y porcentaje de mejora sin considerar Infiltración [Kwh/año]

Los promedios de variación de la demanda se presentan en la Tabla 4.1. debido a que las desviaciones estándar de dichos valores demuestran que existe una alta dispersión de datos, lo que puede inducir a conclusiones erróneas, se procede a calcular la mediana del grupo de datos. Esto permite ver de manera más clara los promedios de demanda de Energía al año, además se muestran los resultados obtenidos con y sin la variable de Infiltración incluida en la simulación.

	<i>Demanda Energía Antes [kWh/año]</i>	<i>Demanda Energía Después [kWh/año]</i>	<i>Demanda Energía Antes (Sin Infiltración) [kWh/año]</i>	<i>Demanda Energía Después (Sin Infiltración) [kWh/año]</i>
Promedio	17.554,74	11.655,12	11.012,05	7.941,14
Desviación Estándar	11.568,53	7.316,58	6.950,03	5.313,08
Mediana (50%)	16.482,48	8.574,15	7.637,49	5.979,07

Tabla 1 Demandas Anuales Promedio Antes y Después del Mejoramiento.

Del gráfico de demandas anuales (Figura 4.2), se obtienen los porcentajes de mejora de demanda de Energía anual, los cuales representan una disminución de la misma. La tabla 4.2 muestra la distribución de los porcentajes de Mejora de la muestra.

	<i>Porcentaje de Mejora Demanda Anual</i>	<i>Porcentaje de Mejora Demanda Anual Sin Infiltración</i>
Promedio	28,46%	24,54%
Desviación Estándar	16,22%	16,84%
Q1 (25%)	15,18%	12,05%
Q2 (50%)	27,07%	20,81%
Q3 (75%)	42,32%	31,28%

Tabla 2 Porcentaje de Mejora de Demanda Anual de Energía de toda la muestra.

Del análisis por cuartiles se observa que el cuartil más bajo Q1 (25% de la muestra), no mejora más del 16,22%, mientras que en el cuartil más alto (25% superior), las muestras superan el 42,32% de mejora en demanda de Energía. Y se observa además que un 50% de la muestra mejora sobre un 27,07%. También se realizó el mismo cálculo para los resultados de demandas de energía calculados sin considerar la variable de Infiltración. De este análisis se observa que sin considerar esta variable se obtienen valores de demanda anuales menores, sin embargo se obtienen valores de variación o mejora en este caso, menores a los calculados al incluir la infiltración en los modelos.

4.2.2 Demanda anual de energía normalizada [kWh/m²/año]

Las demandas anuales por m² habitable útil presentan mejoras en toda la muestra aumentando su desempeño energético. (Figura 5.6).

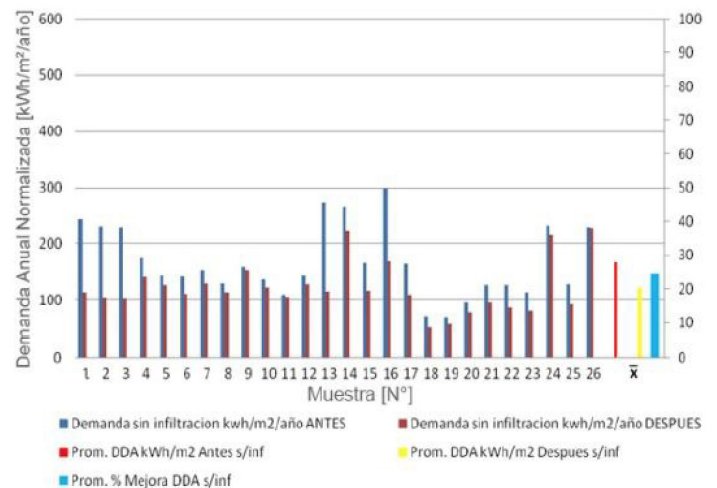


Figura 6 Demanda normalizada anual Antes y Después s/inf [kWh/m²/año].

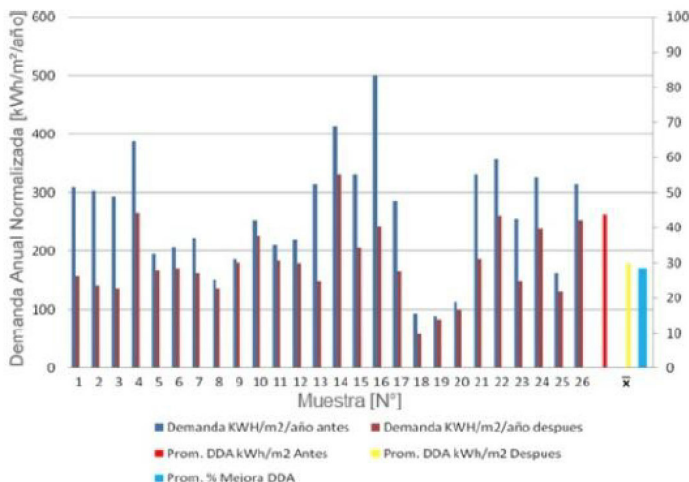


Figura 5 Demanda normalizada anual Antes y Después c/inf [kWh/m²/año].

4.3. Consumo de combustibles

El gráfico de la Figura 4.4 muestra los consumos aproximados de Leña estimados mediante simulación con Software. (Los consumos de la situación antes de la intervención fueron cotejados con los recogidos por la encuesta realizada en cada vivienda).

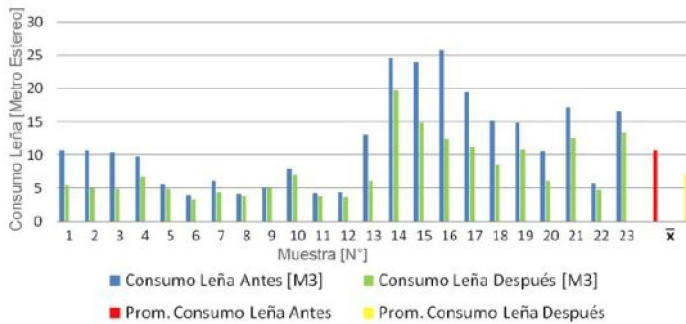


Figura 7 Gráfico consumo de leña estimado.

Debido a que solo se tienen los consumos entregados por los usuarios durante la situación antes del acondicionamiento térmico, solo se puede estimar la disminución del consumo mediante simulaciones, resultados que debieran verificarse con los usuarios luego del siguiente invierno.

Sin embargo los consumos estimados obtenidos con las simulaciones por Software, arrojan consumos similares en la situación antes. Por lo que con el promedio de mejora obtenido (disminución de demanda) se puede inferir que el consumo en dichas viviendas podría disminuir proporcionalmente con la intervención. Ahora bien, con respecto a la emisión de contaminantes (MP10) producidos durante el invierno en Temuco y Padre Las Casas, es posible calcular cuánto se puede disminuir en promedio por cada casa intervenida.

La emisión de MP10 se expresa básicamente como el producto de un factor de emisión (FE) por un nivel de actividad (NA).

$$E = FE \cdot NA \cdot \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

$$E = \left(19,6 \left(g \frac{MP10}{kg} leña\right) \cdot 8610 \left(\frac{kg}{año}\right)\right) \cdot \left(1 - \frac{60\%}{100}\right)$$

$$E = 67,50 \left(\frac{kg}{año}\right)$$

Tomando el promedio estimado de consumo de leña por vivienda en este estudio y con un factor de emisión de una estufa, de 19,6 g MP10/kg leña (CENMA, 2009) se obtuvo un promedio de emisiones de 67.50 kg/año, luego considerando el porcentaje promedio de mejora de las viviendas estudiadas, con la estimación del consumo se puede observar que cada vivienda podría disminuir en un 27% el consumo de Combustible, (biomasa) llegando a emitir 49,27 kg/año de MP10 en promedio.

De esta forma se debiera observar después del mejoramiento, una reducción del consumo de leña para calefacción, una mejora en el confort de las viviendas (ya percibido por los usuarios) un aumento el valor del inmueble y una reducción de las emisiones de MP10, colaborando con la descontaminación atmosférica de la ciudad de acuerdo al Plan de descontaminación atmosférica.

5. Conclusiones

Las demandas estimadas antes y después de la intervención, presentaron mejoras en todos los casos, mostrando un promedio de un 28% con una desviación estándar de 16% en la disminución de la demanda de energía, mostrando además que el 50% de la muestra mejora sobre un 27% y el 25% que más mejora lo hace por sobre un 42%, llegando a mejoras máximas de un 53%. Lo que da cuenta de que el subsidio resulta en cambios importantes en las viviendas intervenidas en las ciudades de Temuco y Padre Las Casas, cumpliendo prácticamente con el objetivo inicial de disminuir en un 30% la demanda energética.

Ahora bien, la alta dispersión en los resultados, muestra que aún se debe afinar algunos procedimientos, de forma que el subsidio tenga un beneficio óptimo para cada vivienda y esto tenga un impacto global en la disminución de energía y emisiones de MP10 en el caso de Temuco y Padre Las Casas. En este aspecto el estudio muestra que el 25% de viviendas que la mejora fue menor, esta estuvo por debajo del 15% de mejora, llegando a un mínimo de 3.2% de mejora (cabe considerar que en este caso solo el 50% del subsidio fue térmico).



Con respecto a las estimaciones de demanda con y sin infiltración, se observa que al no considerar esta variable se tiende a subestimar la demanda de las viviendas en aproximadamente un 60% de la real, lo cual puede llevar a estimaciones globales erróneas. Con respecto a los análisis de Infiltración realizados en terreno se pudo obtener los primeros parámetros reales de las viviendas en Temuco y Padre Las Casas. Demostrando que esta variable olvidada en la normativa Chilena tiene una gran incidencia en la demanda de energía de calefacción residencial. Se observó que su mejora no fue cubierta por la intervención de las viviendas, en la mayoría de los casos y en los que hubo mejora, esto fue por causas indirectas. En los casos en que la filtración de aire aumentó, por lo general fue debido a cambios de puertas y ventanas, lo cual debe ser corregido técnicamente en los próximos subsidios por los ejecutores.

La disminución del consumo de combustible para calefacción, estimado mediante simulación de demanda energética, se traduce en una mejora de confort, ahorro de dinero para el usuario, y una disminución un 27% de emisión de contaminantes por vivienda. Lo que demuestra la importancia de esta línea de acción del Plan de Descontaminación Atmosférico para las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Es importante destacar que el porcentaje de mejora debe ser observado junto a la demanda inicial de cada vivienda, ya que en casos con altos consumos de energía, el hecho de presentarse una mínima mejora en la demanda, no significa directamente una mala aplicación del subsidio, ya que puede resultar importante la disminución a la hora de cuantificar el consumo de combustible para calefacción y la emisión de MP10. En términos concretos, un porcentaje menor de mejora en viviendas con alta demanda energética puede ser mucho más importante en el global que un alto porcentaje de mejora en viviendas con un mejor comportamiento energético. Lo cual debería ser la prioridad de la aplicación de este subsidio en ciudades donde la combustión residencial de leña es la principal causa de la contaminación atmosférica, es decir, la mayor parte del Sur de Chile.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen de forma especial al financiamiento del Ministerio de Energía, Ministerio de Vivienda y Urbanismo y al proyecto DIUFRO DI09-0083, Universidad de La Frontera, Chile.

Bibliografía

- (1) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE 119, 1988: Air Leakage Performance for Detached Single-Family Residential Buildings. Estados Unidos, 1988.
- (2) Araneda, C. Evaluación energética de las viviendas intervenidas en la iniciativa piloto de reacondicionamiento térmico en Temuco y Padre Las Casas. Universidad de La Frontera, 2010.
- (3) Cardenas, J.P; Hope, J; Araneda, C. Evaluación Energética de una muestra representativa de las viviendas intervenidas en la iniciativa piloto de Reacondicionamiento Térmico. Ministerio de Energía; Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2011.
- (4) Comisión Nacional del Medio Ambiente; DICTUC. Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas, 2008.
- (5) Instituto Nacional de Normalización. NCh 1079 of 2008: Arquitectura y construcción – Zonificación climática habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico, 2008.
- (6) ASTM D Standard E779, 2010: Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

Éxito de los ensayos acelerados a escala natural en Costa Rica Successful of Accelerated Tests on Natural Scale in Costa Rica

Luis Guillermo Loría Salazar¹, José Pablo Aguiar Moya²,
Paulina Leiva Padilla³, Fabricio Leiva Villacorta⁴

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del
artículo:

Recibido
16-05-2014
Aceptado
21-07-2014
Publicado
10-11-2014

Palabras Claves:
Ensayos
a escala
acelerada
Diseño
Pavimentos
Materiales

Article history:

Received
16-05-2014
Accepted
21-07-2014
Available
10-11-2014

Keywords:
Accelerated
Scale Tests
Design
Pavements
Materials

Afiliaciones de los autores en superscript

¹Coordinador General, PITRA-LanammeUCR, ²Coordinador, Unidad de Materiales y Pavimentos, PITRA-LanammeUCR, ³Investigadora, Unidad de Materiales y Pavimentos, PITRA-LanammeUCR, ⁴Investigador, Unidad de Materiales y Pavimentos, PITRA-LanammeUCR.
luis.loriasalazar@ucr.ac.cr, phone: 506-2511-2542, fax: 506-2511-4442

Resumen

El diseño de pavimentos en Costa Rica, tradicionalmente ha sido realizado por medio del uso de la metodología de diseño AASHTO 93, que basa en correlaciones empíricas de los resultados obtenidos de las pistas de ensayo de Ottawa, Illinois en 1950. Hace algunos años en los Estados Unidos, -donde fue originada esta metodología-, se identificó la necesidad de una transición de este estado empírico (estado actual), hacia un estado empírico-mecanístico (estado del arte), y finalmente una implementación totalmente mecánica (estado de las investigaciones actuales), buscando con este objetivo un retorno a los principios básicos de la ingeniería. Dentro de este contexto, ha sido por tanto necesario el contar, con una base de datos que permita generar los modelos requeridos para una adaptación a las condiciones propias de los materiales y del lugar. En Costa Rica, debido a la falta de un historial de datos y, contemplando la experiencia en el diseño de los países sudafricanos, quienes a razón de recursos, han apostado por la práctica de la ingeniería a lo largo de todos estos años; se adquirió un equipo para el análisis acelerado de pavimentos en la escala natural: el Simulador de Vehículos Pesados (HVS, por sus siglas en inglés). Los primeros ensayos de implementación y adaptación desarrollados por el PITRA-LanammeUCR se muestran a continuación en el presente documento.

Abstract

Traditionally the design of pavements in Costa Rica had been made using AASHTO 93 design method, which is related with empirical correlations of the results obtained from Ottawa, Illinois testing tracks, in 1950. Some years ago in the United States of America, where that methodology was generated, it had been recognized the necessity of one transition from this empirical state (actual state), to one empirical-mechanistic (state of art) and finally, in a few years later, to a total mechanical implementation (state of the recent research), in order to return to the use of the basic engineering principles. In front of this context, it is necessary to count with a database, to develop the required models to adjust the materials conditions of specific the place. Costa Rica does not count with a database with those characteristics, because of this reason, and taking in count the experience of South African people, who by economical reasons, always have opted by the engineering practice; PITRA-LanammeUCR decided to buy an Accelerated Pavement Tester (APT): the Heavy Vehicle Simulator (HVS). The first results obtained are shown below in this document.

1. Introducción

Los equipos de ensayo acelerado de pavimentos (APT, por sus siglas en inglés), fueron concebidos como una necesidad de los países sudafricanos, de realizar pavimentos económicamente accesibles y cuyo desempeño cumpliera con las solicitudes ante las cuales se veían sometidos. La idea de los APT es fundar las metodologías de diseño, en las teorías mecánicas que describen el comportamiento de los materiales y las estructuras en la realidad y, que definen las bases de la ingeniería.

Tradicionalmente en el diseño y análisis de pavimentos se pueden identificar tres estados en transición: el empírico, el empírico-mecánico y el mecánico. Las bases de los APT se ubican dentro del estado mecánico, lo que les confiere gran utilidad en el desarrollo y calibración de metodologías de análisis y diseño.

Costa Rica en particular ha estado muy influenciada por las metodologías de diseño provenientes de los Estados Unidos, cuyas bases se establecen, en el empirismo definido en resultados estadísticos del comportamiento de los materiales y de las estructuras durante su vida útil, práctica que ha retrasado en cierta medida el desarrollo de la ingeniería de pavimentos en la historia.

El estado de la práctica actual (empírico-mecánica), ha evolucionado hacia la verificación del desempeño de las estructuras diseñadas con metodologías empíricas como la AASHTO 93, por medio de la predicción de las respuestas de los pavimentos a desarrollar cinco tipos de deterioros comunes: agrietamiento por fatiga, deformación permanente, agrietamiento por baja temperatura, reflejo de grietas o su propagación y pérdida de durabilidad (oxidación, daño por humedad), acercando un poco más los diseños realizados a las condiciones reales.

El estado del arte, que confiere el campo de las investigaciones actuales, ha llevado a los ingenieros a retornar a las bases de la mecánica de los materiales, con la finalidad de proponer metodologías más económicas pero sin dejar de lado la calidad de las estructuras.

En Costa Rica, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, LanammeUCR, es el ente designado por ley para el desarrollo de investigaciones en nuevas metodologías y prácticas que promuevan una mejor calidad de la infraestructura del país.

Es por esto que desde el 2005, el Programa de Infraestructura del Transporte a través de su Unidad de Materiales y pavimentos, evaluó la posibilidad de construir y utilizar secciones de pavimento a escala natural para el desarrollo de ensayos de simulación a escala acelerada de pavimentos.

Luego del análisis de las diferentes opciones y métodos disponibles en el mundo, se determinó que para las condiciones tanto técnicas y económicas del país, el Simulador de Vehículos Pesados (HVS), era el equipo que mejor se adaptaba.

Con el HVS se pretende el desarrollo de una caracterización adecuada del desempeño de las estructuras de pavimentos del país a largo plazo, como único método para lograr el desarrollo y calibración apropiados de la Guía Mecánico-Empírica de Diseño para Costa Rica (CR-ME) que se encuentra actualmente en desarrollo.

2. Materiales y métodos

El proyecto se ha definido en varias fases por medio de las cuales, se espera lograr el desarrollo adecuado de ensayos acelerados a escala natural en Costa Rica.

La primera fase consiste en el ensayo en laboratorio de ocho pistas experimentales, con las cuales, se pretende desarrollar la experiencia necesaria para el desarrollo de las fases que le preceden, que implicarán, el traslado del equipo a las nuevas instalaciones que se construirán en la sede de la Universidad de Costa Rica en Guanacaste y, a diferentes proyectos localizados en el país.

A continuación se describen los materiales y métodos relacionados con la primera fase mencionada anteriormente.

Pistas experimentales

Las ocho pistas experimentales construidas para la primera fase se ubican en una fosa de 22.0 metros de largo, 8.2 metros de ancho y una profundidad que varía entre los 2.55 metros y 2.75 metros, ubicada en las instalaciones del programa de investigación asignado: PAVELAB (Figura 1).



Figura 1 Excavación de la fosa para la construcción de las pistas

Cuatro de las ocho pistas cuentan con material granular como base y las cuatro restantes, con base estabilizada con 4.2% de cemento por metro cúbico -en ambos casos el espesor de esta capa es de 25 cm-. La geometría y las propiedades de los materiales de las estructuras de pavimento propuestas se muestran en la Tabla 1.

Propiedades\Tramo	AC1	AC2	AC3	AC4
H1, cm - (MA)	7,0	7,0	12	12
H2, cm - (Base)	24	24	24	24
H3, cm - (SB)	30	30	30	30
E1 @ 25 °C, MPa	3500	3500	3500	3500
E2, MPa	2000	200	200	2000
E3, MPa	140	140	140	140
E4, MPa	35	35	35	35
Asfalto	PG 64-22	PG 64-22	PG 64-22	PG 64-22

Tabla 1.- Geometría y propiedades de los materiales de las pistas de ensayo

Instrumentación

Ya que la medición apropiada de las respuestas del ensayo es uno de los principales objetivos en investigaciones de este tipo, es necesaria una instrumentación adecuada de las pistas de ensayo. Para la primera etapa del proyecto se colocaron: perfilómetro laser 3D automatizado, transductores para medición de presión para pavimentos y para suelos, deflectómetros de profundidad múltiple, deflectómetro de superficie del pavimento y termocupas; cuyo arreglo es posible observar en la Figura 2.

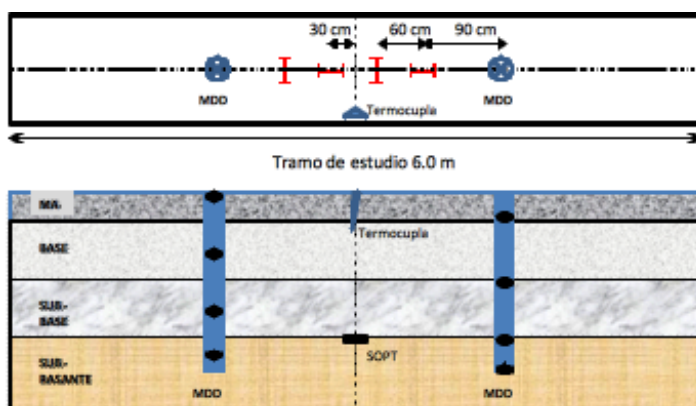


Figura 2 Arreglo de instrumentación propuesto. Primera etapa

3. Resultados

Primeramente, para la caracterización de las estructuras finalmente colocadas, se utilizó el radar de penetración para la determinación de los espesores de cada capa. Como se muestra en la Figura 3 se determinó que el espesor promedio de la capa asfáltica para las secciones AC1 y AC2 es de 5,1 cm y de 13,1 cm para las secciones AC3 y AC4. Por otro lado el material de base granular y base estabilizada para las secciones AC1 y AC2 fue en promedio 18.0 cm y 21.2 cm respectivamente. Para las secciones restantes se obtuvo 31,0 cm de base granular y 24,9 cm de base estabilizada. Finalmente se calculó que el espesor promedio de la sub-base granular de 30,1 cm.

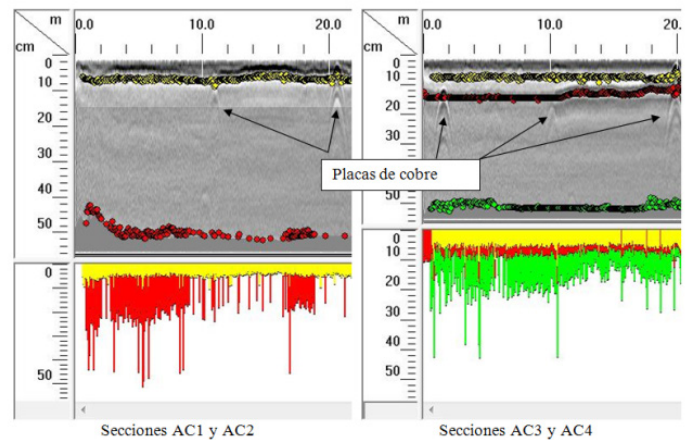


Figura 3- Arreglo de instrumentación propuesto. Primera etapa

Seguidamente, con la ayuda de deflectómetros de profundidad múltiple (MDDs), se recopilaban datos de deflexión en las diferentes capas del pavimento de la primera pista de ensayo AC1(Figura 4).

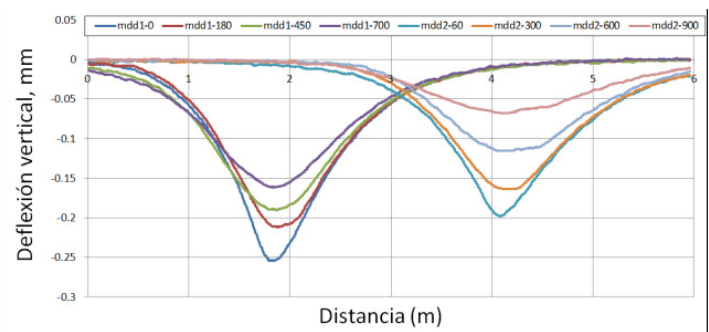


Figura 4 Deflexión vertical medida con los MDDs

Los valores mdd1 representan la deflexión medida a nivel de superficie, la mitad de las capas granulares y a 200 mm dentro de la subrasante; mdd2, la deflexión medida a profundidades a nivel de interface entre capas y a 300 mm dentro de la subrasante. Los resultados muestran consistencia y distribución de las cargas traducida en menores deflexiones con la profundidad. Todo esto se realizó con una carga de 20 kN por neumático a una velocidad de 4 km/h. Con estos datos es posible obtener un perfil tridimensional como el que se muestra en la Figura 5.

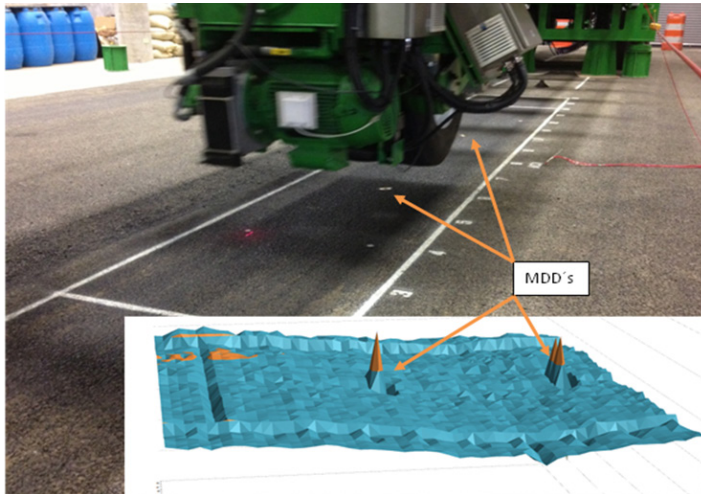


Figura 5 Arreglo de instrumentación propuesto. Primera etapa

Al finalizar el ensayo de la primera pista, se realizaron mediciones con el deflectómetro de impacto (FWD), los resultados mostraron heterogeneidad en los materiales de las capas superiores y homogeneidad en las inferiores (Figura 6).

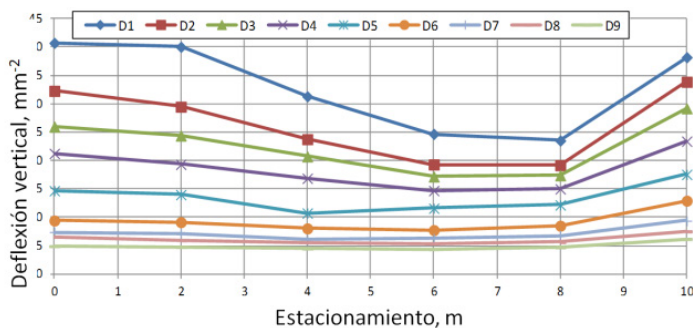


Figura 6 Resultados ensayo de deflectometría de impacto

En complemento a los resultados anteriores, se determinaron los siguientes indicadores internacionales que permiten cuantificar la capacidad de soporte de la estructura: Índice Base de Curvatura (BCI, por sus siglas en inglés), Índice base de Daño (BDI, por sus siglas en inglés) e Índice de Curvatura Superficial (SCI, por sus siglas en inglés).

Con estos parámetros se determinó que para el caso de la base estabilizada, no se superó el valor de BCI de los 80x10⁻³mm, lo que indica que no hay deficiencias en las capas intermedias, por otro lado, en los extremos se alcanzaron valores de BDI de 100x10⁻³mm, lo que significa deficiencias en la capa de base, finalmente, para la capa asfáltica, el valor de SCI estuvo por debajo de 50x10⁻³ mm y con poca variabilidad, lo que indica homogeneidad de esta capa. La Figura 7 presenta los resultados respectivos.

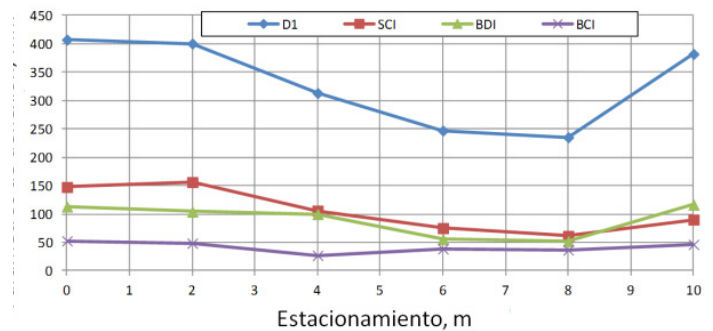
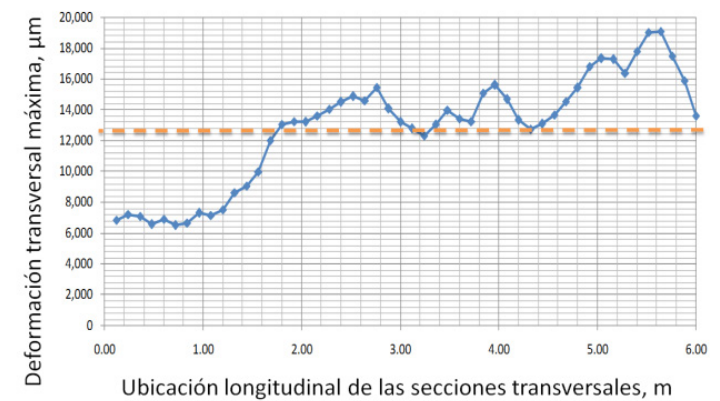
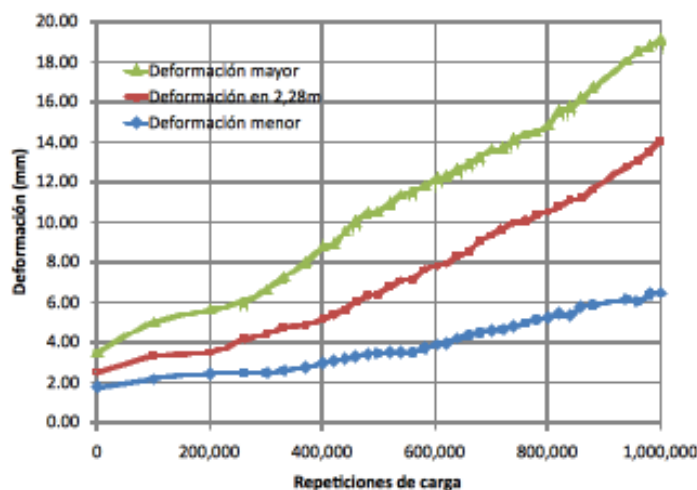


Figura 7 Parámetros de deflexión

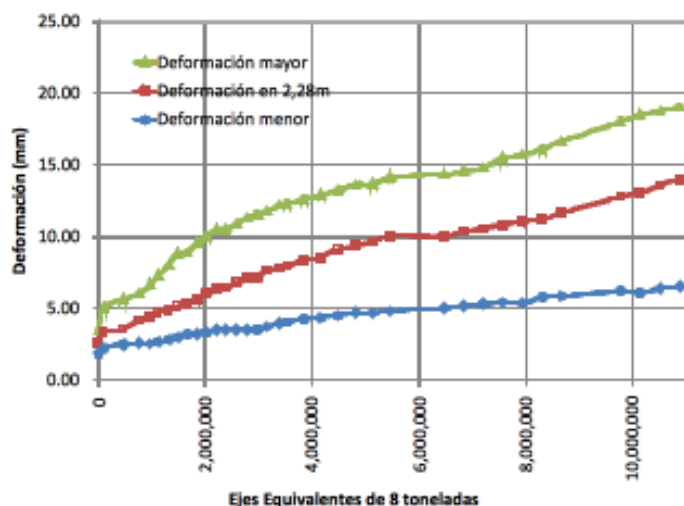
Adicionalmente, en la Figura 8 se muestra el perfil del tramo al final del ensayo, cuando la sección alcanzó el límite de falla establecido-12.5 mm-; así como la progresión de la deformación-máxima, mínima y un valor representativo-, de la sección con respecto a las repeticiones de carga y los ejes equivalentes.



(a) En la ubicación longitudinal



(b) Con respecto a repeticiones de carga



(b) Con respecto a ejes equivalentes

Figura 8 Deformación permanente

En complemento a lo anterior, la Figura 9 presenta las secciones transversales promedio del perfil medido a diferentes niveles de repetición de carga. Esta figura revela el efecto de consolidación de la estructura y el desplazamiento lateral de la mezcla asfáltica.

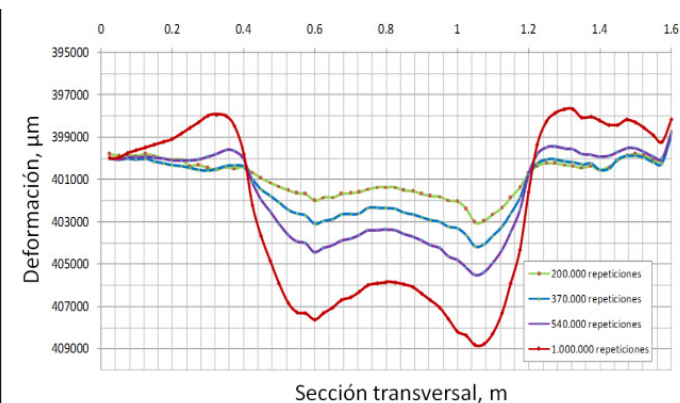
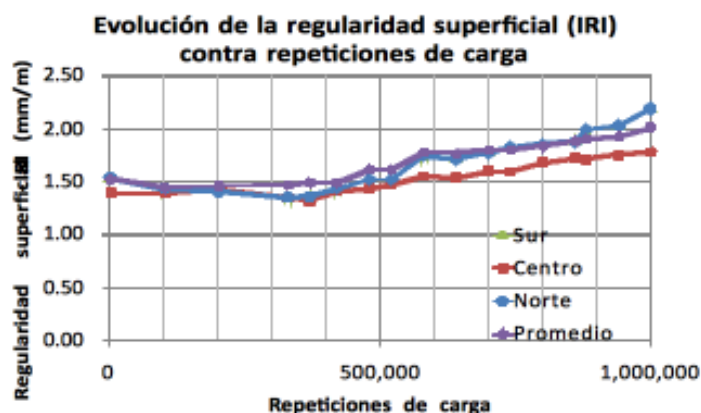
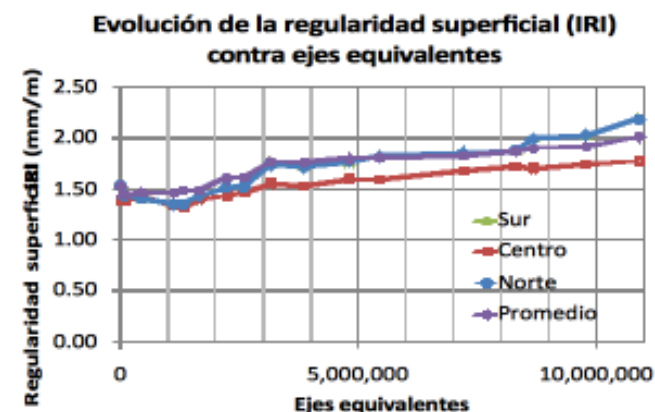


Figura 9 Deformación transversal promedio

Por otro lado, considerando los valores de deformación longitudinal de la superficie, medidos con el sistema láser incorporado, se realizaron los cálculos respectivos al índice de regularidad superficial (IRI, por sus siglas en inglés) a lo largo de la realización del ensayo. Como se aprecia en la Figura 10, se parte de valores de IRI = 1.5 m/km, que disminuyen ligeramente a 1.3 m/km-resultado de la pasada de la llanta- y luego, como corresponde teóricamente, vuelven a aumentar. Cabe mencionar que estos valores de IRI bajos pueden asociarse a la limitación de la corta longitud del tramo de prueba.



(a) Con respecto a carga



(b) Con respecto a ejes equivalentes

Figura 10 Regularidad superficial

Conclusiones

La experiencia obtenida del desarrollo de este proyecto ha permitido para Costa Rica, por medio de su LanammeUCR, generar la base para un desarrollo exitoso de investigación de primer mundo en el área de carreteras.

Por la naturaleza del proyecto, este es solo el inicio de una serie de resultados que vendrán a permitir al LanammeUCR, el desarrollo de metodologías de diseño que serán la base para la generación de la Guía Empírico-Mecánica de Diseño para Costa Rica, CR-ME, que será un insumo fundamental en la ingeniería de pavimentos del país, garantizando la máxima eficiencia en la inversión en infraestructura, principal tarea asignada por ley al LanammeUCR.

Referencias

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 1993. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D.C.

Asphalt Institute. 1981. Thickness Design—Asphalt Pavements for Highways and Streets. MS-1, Manual Series No. 1. Ninth Edition. United States of America.

Coetzee, N. et al. 2008. The Heavy Vehicle Simulator in Accelerated Pavement Testing: Historical Overview and New Developments. 3rd International Conference APT.

Heavy Vehicle Simulator. Monitoring of test sections and instrumentation. Documento consultado el 6 de abril del 2010. <http://www.gautrans-hvs.co.za/>

LTPP. 2009. LTPP Beyond FY 2009: What Needs to Be Done?. Reporte FHWA-HRT-09-052.

Theyse, H.L. 2000. Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Method South African Transport Conference

Leiva, F. et al. 2013. Implementación de Ensayos Acelerados de Pavimentos en Costa Rica con el Equipo HVS. XVII Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto, CILA2013. Antigua, Guatemala.

Loría, L., Leiva, P., Leiva, F. 2014. Primeros ensayos de los ensayos a escala acelerada en Costa Rica. XIV CIC Congreso de Ingeniería Civil 2014. San José, Costa Rica.



Análisis de Mitigación Estructural de Lahares en el Poblado de Melipeuco, Derivados del Volcán Llaima, Chile, Valor de la Ciencia Mapuche, de la Observación Permanente.

Structural Mitigation Analysis lahars in the Melipeuco Town, Derivatives Llaima Volcano – Chile, Value of Mapuche Science, Permanent Observer.

Álvaro Amigo¹, Carolina Silva¹, Patricio Saavedra²

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del
artículo:

Recibido
23-09-2014
Aceptado
27-09-2014
Publicado
10-11-2014

Palabras Claves:
Modelación
numérica
Mitigación
estructural
Saberes Mapuche

Article history:

Received
23-09-2014
Accepted
27-09-2014
Available
10-11-2014

Keywords:
Lahar
Digital Model
Structural
measures

¹Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN Ministerio de Minería - Gobierno de Chile)

²Universitat de Barcelona (Master UB-UAB)
Patriciosaavedrap@gmail.com, teléfono: 56-09-76997580

Resumen

El Poblado de Melipeuco está ubicado a 14 km del cráter del estratovolcán Llaima este volcán es considerado uno de los volcanes más activos de latino américa. Desde el año 1640 a la actualidad, presenta 50 erupciones documentadas. Los lahares del volcán Llaima se originan, en su mayoría, por la súbita descarga de agua subglacial generada por la rápida fusión de nieve y/o hielo durante las etapas álgidas de una erupción y también de la incorporación de los productos generados durante la erupción que los causa.

En esta investigación se han modelado zonas de inundación por flujos laháricos mediante el programa computacional LAHARZ, usando volúmenes de lahares de otros volcanes ubicados en los Andes del Sur como el Villarica, Calbuco y Chaitén. El desarrollo de las medidas estructurales (mantención de obras y obras nuevas), combinadas con medidas no estructurales (monitoreo instrumental, educación, planes de evacuación, etc.), es considerado fundamental en la prevención y mitigación del riesgo por flujos laháricos. Conocer el entorno natural como medida de mitigación es un aspecto fundamental que este trabajo rescata. Es por ello que se le otorga un carácter intercultural a través de la consideración de los saberes mapuche. Esto para profundizar en la eficiencia y eficacia de las intervenciones, en tanto, la sobrevivencia exitosa de esta cultura en la zona aportará, sin duda, simples pero efectivas recomendaciones para saber dónde edificar y disminuir una variable importante, la exposición a los riesgos naturales.

Abstract

The town of Melipeuco is settled 14 km south of the Llaima volcano. It is considered one of the most active volcanoes of Latin America. More than 50 eruptions have been recorded from 1640 to date. The lahars of Llaima volcano originated by the sudden discharge of sub-glacial water derived from the rapid melting of snow and ice during the algid stage of the eruptions. In addition, the incorporation of the products generated during the eruption itself, increase flow volumes. Also moraine deposits are efficiently incorporated into the flows.

Inundation areas downstream from the volcano have been estimated using a numerical model. In this case the LAHARZ model was used. The volumes considered for simulations are similar to those estimated for volcanoes in the southern Andes, such as Villarica, Calbuco and Chaiten volcanoes. The development of facilities is considered fundamental to mitigate the potential effects of lahar flows. These facilities, however, should be accompanied by unstructured measures such as education and emergency plans. Knowing the natural environment is a key aspect of risk mitigation and a fundamental part of this project. Because of that it is given a strong intercultural character from the consideration of the Mapuche and their knowhow. This greatly increases the efficiency of all development by sharing the knowledge of the local people. This will, without a doubt, provide information on safer construction site selection and will limit an important risk factor, the exposure to natural hazards.

Introducción

Para diseñar obras de ingeniería que aporten a la mitigación estructural es necesario obtener información respecto de los parámetros físicos de los lahares. Datos en torno a sus volúmenes, caudales, velocidad son requeridos para establecer tiempos en planes de evacuación de la población y como datos para elaborar modelaciones numéricas. Lo anterior debe vincularse al establecimiento de cuáles son las zonas más vulnerables, de tal manera, que el análisis de mitigación estructural realmente sirva a la reducción del impacto sobre las estructuras existentes y a la planificación de obras futuras.

Lo indicado es un objetivo principal del estudio, al que se agrega rescatar el conocimiento ancestral mapuche. Este es fundamental para entender la mitigación desde un posicionamiento epistemológico-que la ciencia debe considerar- pertinente a los saberes y prácticas de las personas que se ven afectadas por estas en la zona. Es así que nuestro análisis incorpora una mirada interdisciplinaria que cruza los saberes occidentales (geología, ingeniería) con aquellos conocimientos construidos al respecto por las comunidades mapuches.

Para llevar a la práctica lo indicado se escogió la zona de Melipeuco Región de la Araucanía, Chile. Allí se encuentra el volcán Llaima considerado uno de los volcanes más activos de Latinoamérica.

Zona de Estudio: A lo largo de Sudamérica, la Cordillera de los Andes presenta cuatro segmentos con volcanismo activo (López et al., 1995), lo cual es consecuencia de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La Zona Volcánica Sur (ZVS), localizada entre las latitudes de Santiago de Chile y Coihaique (33-46°S), es el segmento de mayor longitud, con 1.450 km. Corresponde, además, al sector con la mayor actividad eruptiva andina, abarcando 31 volcanes con registro histórico de erupciones, entre ellos dos de los volcanes más activos de Sudamérica: Llaima y Villarrica. De este modo, esta zona concentra cerca de 120 erupciones históricas desde 1558, que constituyen aproximadamente el 30% de las erupciones documentadas a lo largo de los Andes chilenos. (Naranjo y Moreno., 2005).

El estratovolcán Llaima (latitud 38°41,5'S, longitud 71°44'W, altura 3.125 m s.n.m.). Desde el año 1640 a la actualidad presenta 50 erupciones documentadas. Los rasgos más significativos en su estilo eruptivo durante los últimos cuatro siglos, es que ha seguido un modelo claramente fisural y de flanco, con centros de emisión ubicados entre los 2.000 y 2.250 m s.n.m.. Estos centros de emisión se ubican hacia los flancos norte y sur, alineados según una orientación NNE. (Naranjo y Moreno., 2005). El poblado de Melipeuco está ubicado al sureste del volcán Llaima a 14 km del cráter. Esta localidad, se encuentra en una zona de muy alto peligro, suscepti-

ble de ser afectada por lahares, durante erupciones originadas en el edificio principal y/o en los cráteres adventicios orientales, tales como las ocurridas entre los siglos XVII a XX (Moreno y Naranjo, 2003). Situado en la región de La Araucanía, la más pobre de Chile (CAsEN, 2011), con una población de 2.572 personas (CENSO, 2002 y la actualización realizada posteriormente a nivel de municipalidad con la aplicación de la Ficha de Protección Social aplicada a toda la comuna entre los meses de Enero y Abril del año 2007).

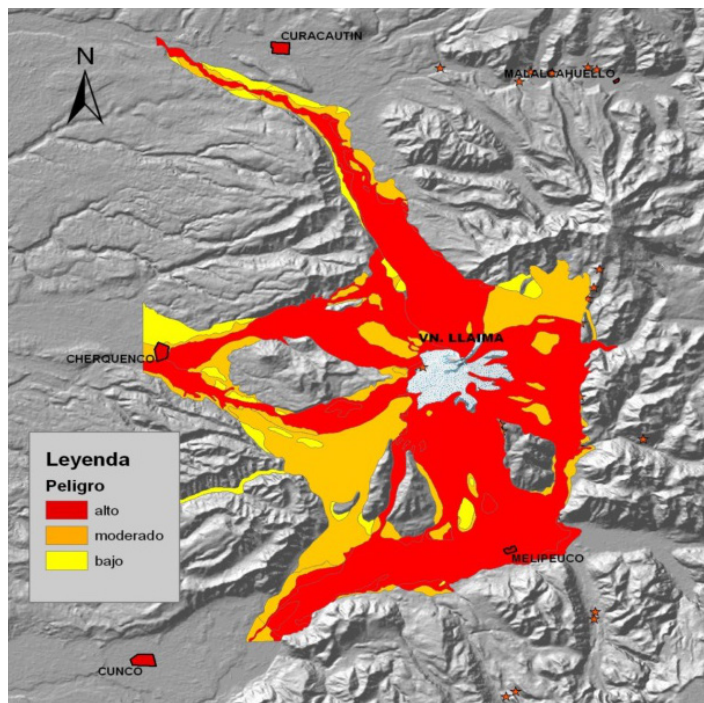


Figura 1: Mapa de Peligros Volcánicos del volcán Llaima, en colores rojo, naranja y amarillo, las zonas que pueden ser afectadas por coladas de lavas y/o lahares durante un evento eruptivo, y en recuadros rojos la ubicación de los poblados cercanos, de norte a sur, Curacautín, Malalcahuello, Cherquenco, Melipeuco, Cunco; escala 1:75.000. (Fuente: Moreno y Naranjo 2003).

Ubicación y Accesos

El volcán Llaima está ubicado en la IX Región de la Araucanía, Provincia de Cautín (38°41,5'S-71°44'W), 85 km en línea recta al este de la ciudad de Temuco, dentro del Parque Nacional Conguillío-Los Paraguas, comuna de Vilcún. El acceso al volcán se puede realizar a través de tres rutas principales desde la ruta 5 Sur. A los sectores noreste y norte del volcán se accede por el camino pavimentado que une victoria Victoria con Curacautín (56 km) o mediante la ruta pavimentada desde Lautaro (57 km). La parte occidental se alcanza por el camino pavimentado desde la localidad de Cajón hacia Cherquenco (45 km), hasta las canchas de esquí Llaima (21 km). Al sector sur se accede desde Temuco a Melipeuco (107 km). La zona oriental del volcán se puede rodear mediante un camino que une las localidades de Melipeuco y Curacautín (77 km). Por otra parte, el sector occidental se puede rodear caminos secundarios que unen las localidades de Melipeuco con Cherquenco y esquí Llaima con Captrén.

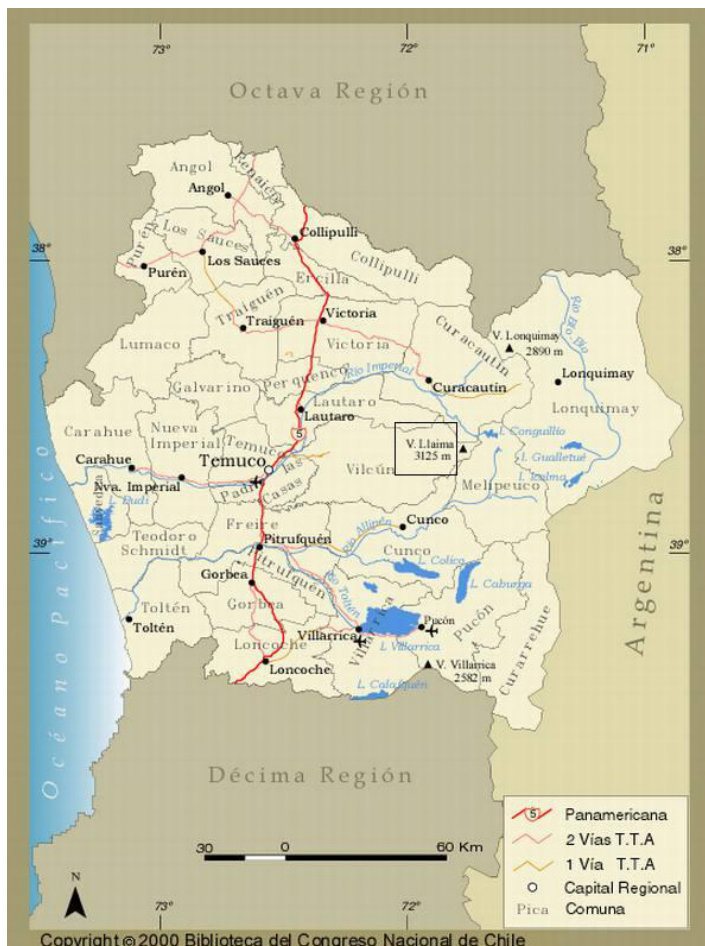


Figura 2: Ubicación y accesos al volcán Llaima. (Fuente: Tomado y modificado de <http://imageshack.us/photo/my-images/709/mapallaima.jpg/>)

Geología del Volcán Llaima

El volcán Llaima cubre una área elíptica de unos 500 km² y tiene un volumen de alrededor de 400 km³, por lo cual es uno de los volcanes más voluminosos de la ZVS. Su base presenta una altitud media de 740 m. s.n.m. y el cono volcánico se eleva hasta 3.125 m. s.n.m., con 50 erupciones documentadas desde el año 1640 hasta 2012. (Naranjo y Moreno, 2005). En su primera etapa, edificada durante sucesivas erupciones de lava fluida tanto del conducto central como de sus flancos dieron origen a un volcán de escudo, sobre el cual se desarrolló un cordón fisural de dirección noreste en su flanco occidental. Con posterioridad, se edificó el cono principal de aproximadamente 1.400 m de altura. El edificio presenta dos cimas y la más prominente es la septentrional, con una altura de 3.125 m. s.n.m., separada de la cima sur de 2.930 m. s.n.m. por un portezuelo de 750 m de longitud. Producto de las erupciones del 2008-2009 el cráter principal se encuentra obstruido por conos piroclásticos y ya no presenta fumarolas permanentes, la cumbre sur

presenta restos de un pequeño cono de escorias anidado en otro mayor, ambos con débiles fumarolas y abiertos hacia el sureste debido a un deslizamiento. El complejo volcánico comprende cerca de 40 conos adventicios de escorias, situados principalmente en su flanco occidental y nororiental, según un alineamiento principal de 25 km de longitud y dirección noreste. Otros se encuentran en el flanco suroccidental.

Según diversos criterios geológicos, en el volcán Llaima se han definido tres unidades evolutivas. La primera representada por el volcán escudo (Llaima Ancestral), que comprende una secuencia de lavas andesítico-basálticas, y más escasas basálticas y andesíticas (52,5-56,64% SiO₂). Este primer y voluminoso habría alcanzado, sobre su base, una altura similar a la actual.

Sus coladas más tardías, en consecuencia, se emplazaron bajo lenguas glaciales. El volcán Llaima Ancestral habría colapsado durante una gran erupción explosiva (13 ka), que generó una caldera y un depósito ignimbrítico andesítico-basáltico con un volumen estimado en 24 km³. Esta etapa explosiva continuó hasta los 7 ka con erupciones plinianas y flujos piroclásticos dacíticos y andesíticos. Una segunda unidad de tipo fisural se construyó en el flanco occidental y norte del volcán, y comprendió numerosos centros eruptivos adventicios (Llaima Fisural). Los materiales emitidos comprenden andesitas-basálticas a andesitas (54-58,6% SiO₂) y los centros adventicios son ligeramente más silíceos que el volcán principal edificado a continuación.

La construcción del edificio o cono volcánico principal (tercera unidad) de tipo combinado estratovolcán-mixto, se habría iniciado con posterioridad a los 3 ka, con un periodo efusivo y explosivo con emisión de lavas y piroclastos de composición andesítico-basáltica predominante y con basaltos francos (51-55,7% SiO₂).

Los Lahares

El término “lahar” es una palabra del idioma de Java (Indonesia) que se utilizó para describir a una “brecha volcánica transportada por el agua”. Los lahares (Pierson and Scott, 1999) son divididos en base a la relación sedimento/agua en: flujos de escombros (debris flows) y flujos hiperconcentrados (hyperconcentrated flows, Pierson and Scott, 1985), (Pierson, Smith & Lowe, 1991) y transformaciones que llevan a la formación de flujos normales de corriente (normal streamflows). En la actualidad hay una tendencia de usar flujo de escombros y lahar como sinónimos, para enmarcar todo el espectro de este tipo de flujos, en donde la fase hiperconcentrada es simplemente la respuesta a la dilución del lahar por incorporación de agua (lahar runout) (Iverson and Vallance, 2001, Murcia, 2008).

Los Lahares del Volcán Llaima se originan, en su mayoría, por la súbita descarga de agua subglacial generada por la rápida fusión de nieve y/o hielo durante las etapas álgidas de una erupción. Los fragmentos primarios de los depósitos laháricos provienen principalmente de depósitos morrénicos removidos en sectores de alta pendiente y también de los productos generados durante la erupción que los causa. Los depósitos de morrenas sobre los flancos del volcán son eficientemente incorporados e incrementan la masa de flujos laháricos. (Naranjo y Moreno 2005).



Figura 3. Ciclo eruptivo del volcán Llaima del año 2008-2009, flanco sur occidental al S. (Fuente: SERNAGEOMIN Chile)

Los Lahares del Volcán Llaima se originan, en su mayoría, por la súbita descarga de agua subglacial generada por la rápida fusión de nieve y/o hielo durante las etapas álgidas de una erupción. Los fragmentos primarios de los depósitos laháricos provienen principalmente de depósitos morrénicos removidos en sectores de alta pendiente y también de los productos generados durante la erupción que los causa. Los depósitos de morrenas sobre los flancos del volcán son eficientemente incorporados e incrementan la masa de flujos laháricos. (Naranjo y Moreno 2005).

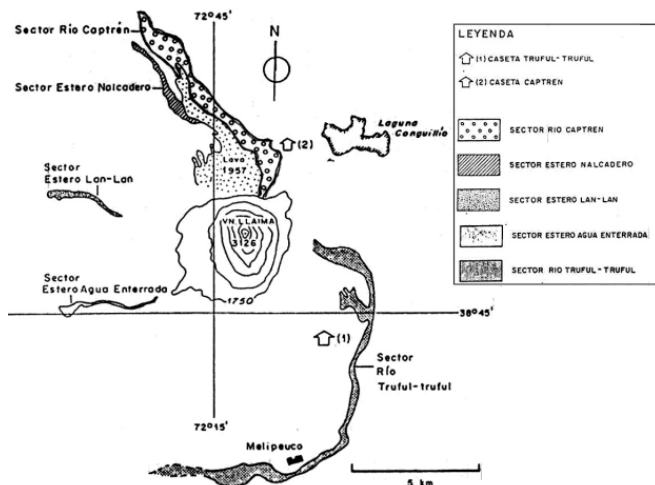


Figura 4: Mapa esquemático que muestra la distribución de los flujos laháricos del Volcán Llaima (Fuente: Quinteros, 1991)

Parametros de los Lahares

La peligrosidad asociada con los lahares se atribuye a su magnitud (volumen y extensión), la cual a su vez depende del volumen de agua disponible, del gradiente y de la profundidad de las barrancas o drenajes, de la fluidez del flujo y de la cantidad de material suelto en los alrededores del volcán. La magnitud del lahar también se relaciona con los componentes de la erupción volcánica, como son, el tipo de erupción, la frecuencia, magnitud y duración del evento y con el volumen del aporte de agua. La duración del evento eruptivo es un factor que influye significativamente en la determinación del volumen y en la magnitud del caudal líquido que se genera. (A. Martínez et al., 2006).

Velocidad (m/s): Pierson (1998) publica un método empírico para estimar tiempos de viajes para flujos de masas volcánicas húmedas. Donde se basa en datos históricos, el principal enfoque utilizado en este estudio fue: (a) obtener datos empíricos fiables sobre el tiempo de viaje para los flujos de masas húmedas de diferentes caudales y tipos de numerosas volcanes (algunos datos sobre los flujos no volcánicos se utiliza cuando los datos sobre flujos volcánicos no estaban disponibles); (B) agrupar estos datos de acuerdo con el caudal, un factor relacionado con la velocidad del flujo y por lo tanto a su tiempo inverso de viajes.

$$Q=V.A=V.d.w$$

Donde Q: Caudal, m³/s; V: Velocidad del flujo; A: Área transversal del flujo (m²); d: Profundidad del canal; w: Ancho del canal.

Y (C) se correlacionan por grupos distancia desde la fuente (variable independiente) contra el tiempo de viaje (variable dependiente), con el fin de obtener ecuaciones de regresión que podrían ser utilizados para estimar flujo de los tiempos de viaje en otros volcanes. Debido a que las tasas de flujo por lo general disminuyen con la distancia recorrida (Pierson 1995), caudales cercanos a la fuente se utilizaron en las regresiones. Los caudales cercanos a la fuente se define como el caudal pico medidos o estimados tan cerca como sea posible la fuente de flujo, por lo general entre 0 y 15 km de la cima del volcán, que es la zona donde las descargas máximas se caracterizan por ser más grande (Pierson, 1995).

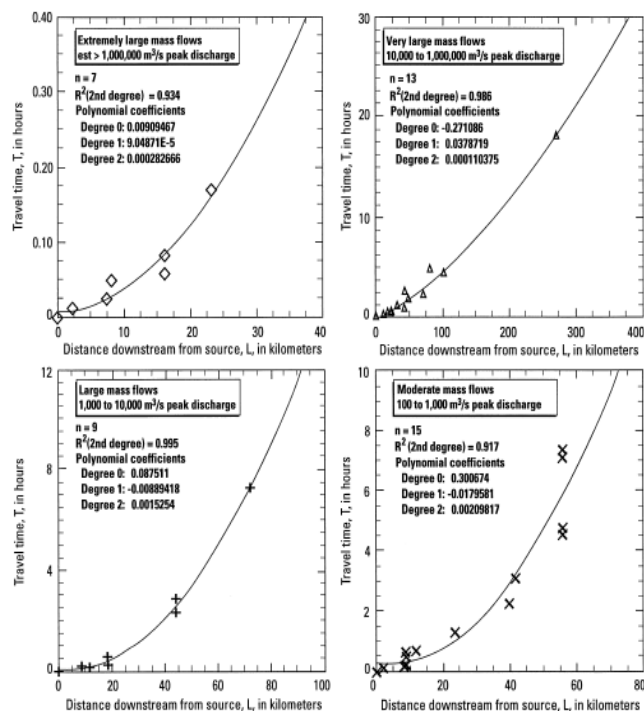


Figura 4: Mapa esquemático que muestra la distribución de los flujos lahárlicos del Volcán Llaima (Fuente: Quinteros, 1991)

El Caudal (m³/s).

Mizuyama et al. (1992) proponen una fórmula para caudales máximos de flujos volcánicos húmedos. A partir del volumen de los flujos.

- $Q_p = 0.0188 V^{0.790}$ (para flujos ricos en arcilla) y
- $Q_p = 0.0135 V^{0.780}$ (para flujos granulares),

Donde Q_p es el caudal máximo de descarga y V es el volumen de flujo. Las curvas de regresión proporcionan una base empírica para estimar el tiempo de viaje de flujos de masas potencialmente catastróficos. Estas relaciones También proporcionan una base empírica para la verificación o calibración modelos predictivos de ordenador.

Metodología

El presente trabajo se ha realizado aplicando métodos de simulación numérica mediante el uso del modelo LAHARZ y DEM ASTER. El estudio se desarrolla a partir de los datos recogidos en campo, identificando zonas de inundación pasadas o potenciales.

Simulación de Lahares

Modelos digitales de terreno (Digital Elevation Model, DEM). El uso de modelos numéricos computacionales para la simulación de zonas de inundación debido a flujos lahárlicos, requiere la utilización de modelos digitales de terreno (DEMs) sobre los cuales éstos sean aplicados. Los DEMs se pueden obtener de diversas fuentes y, a través de diferentes métodos. Cada uno de estos modelos tiene su fuente de error, por lo que se requiere un estudio de sensibilidad en los diferentes modelos a utilizar con cada uno de ellos. Asimismo, es necesario efectuar un análisis de las ventajas y desventajas de los diferentes DEMs, para determinar el que mejor se ajusta a los propósitos deseados (Castruccio, 2008). En este análisis se utilizará como DEMs el ASTER.

El ASTER (siglas de Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es uno de varios sensores que lleva el satélite Terra de la NASA, orbita la tierra a 705 km de altura, con un intervalo de repetición de 16 días. El ASTER consta de 3 subsistemas que proveen una capacidad multiespectral de 14 bandas. Las bandas 3N y 3B poseen una resolución espacial de 15 m y corresponden al par estereográfico utilizado para generar el DEM. El DEM fue construido utilizando el software ENVI 4.2, con una resolución horizontal de 30 m, que es el doble de la resolución espacial de la imagen, debido a la mayor confiabilidad que la obtenida con una resolución mayor (Huggel et al., 2007).

LAHARZ es un programa computacional, desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos en 1998 (Iverson y Schilling, 1998) que permite delinear zonas de peligro volcánico, asociadas a la posible inundación generada por flujos lahárlicos a través de un método semiempírico. Este modelo está implementado en el ambiente ArcGIS y ha sido ampliamente utilizado en el mundo en diversos volcanes alrededor del mundo (Schilling et al., 2001; Canuti et al., 2002; Stevens et al., 2002; Hubbard et al., 2006, por citar algunos ejemplos). El método utiliza una combinación de análisis dimensional y estadístico para determinar las áreas de inundación transversal (A) y planimétricas (B) generadas por el flujo lahárlico, en función del volumen de éste (Figura 11), a través de una serie de ecuaciones en que asume una masa y densidad constante y, por lo tanto, un volumen constante, se llega a las siguientes relaciones



(los detalles de la derivación de las ecuaciones se encuentran en Iverson et al 1998):

$$A = CV^{2/3}$$

$$B = cV^{2/3}$$

En que V es el volumen del lahar, C y c son constantes adimensionales.

Para calcular las constantes adimensionales C y c, se utilizan los datos de volumen e inundación de 27 lahares en 9 volcanes determinados a partir de depósitos y observaciones de lahares recientes, más algunos datos de experimentos en flujos de volumen más pequeño. Las ecuaciones quedan de la siguiente manera, modificadas por Castruccio 2008, para el volcán Villarrica.

$$A = 0,005 V^{2/3}$$

$$B = 200 V^{2/3}$$

Con estas 2 ecuaciones se puede predecir las áreas de inundación producidas por lahares de diferentes volúmenes. El punto en el cauce a partir del cual el flujo lahático comienza a inundar es definido por la intersección del cauce con el límite de la zona de peligro cercano, definido por el usuario, de acuerdo a la geología e historia eruptiva del volcán (Iverson et al., 1998; Schilling, 1998). El uso de este programa computacional presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

Facilidad y rapidez en el uso del programa, lo que permite resultados en poco tiempo, para luego analizarlos. Economía de recursos, solo se necesita un modelo digital de terreno del área que se desea estudiar, lo que permite realizar la delimitación de las zonas de peligro en áreas de difícil acceso o que no han sido estudiadas anteriormente.

Desventajas:

Se utilizan simplificaciones, como el uso de un volumen constante, la determinación arbitraria del punto de partida del cual comienza a depositar un flujo lahático y considerar que un evento lahático consiste en un solo pulso. Calibrados con depósitos y flujos laháticos y no laháticos, ocurridos en otros lugares que pueden tener un comportamiento muy distinto al de los volcanes chilenos de los Andes del Sur. Es un modelo semi-empírico y no físico, lo que impide estudiar la dinámica del flujo, o incorporar propiedades reológicas al modelo. (Castruccio, 2008).

Riesgo Geológico

El riesgo geológico es el resultado de la ecuación $R = P \times E \times V \times Valor$ Donde R=Riesgo; P=Peligrosidad es la probabilidad de ocurrencia de un Fenómeno Natural, su magnitud y frecuencia en el tiempo son condiciones importantes.

E= Exposición es la probabilidad de ser afectado por un fenómeno natural, por ejemplo por un lahar.

V= Vulnerabilidad, es el aporte del elemento a afectar por ejemplo la materialidad, calidad de una vivienda.

Valor= Es el costo en vidas humanas y/o socio-económicos de los elementos bajo riesgo, en general es un valor económico.

En general la mitigación estructural se centra en la disminución de la variable exposición, reduciendo cuales quiera de estas variable a cero el resultado de la ecuación será cero, no hay riesgo.

Técnicas de Mitigación

Hay dos tipos básicos de las medidas de prevención y mitigación de los desastres relacionados con los lahares:

Medidas estructurales, Las medidas estructurales se refieren a la intervención física mediante el desarrollo o refuerzo de obras de ingeniería, interviniendo directamente en la vulnerabilidad, por ejemplo, instalaciones de control de erosión (activo). Las medidas no Estructurales donde se encuentran el desarrollo de programas preventivos, por ejemplo, sistemas de alerta y evacuación, reglamentos de uso del suelo (pasivo). Ambos tipos se combinan para producir medidas eficaces para prevenir y reducir el daño de los flujos de escombros.

El desarrollo de las medidas estructurales es considerado fundamental para la prevención de los flujos de escombros. En Japón esta tecnología se ha desarrollado considerablemente y se denomina ingeniería "SABO" (Sabo, termino japonés para referirse al control de la erosión mediante obras (Mizuyama, 2008). Ejemplos de algunas instalaciones construidas en terreno son presas que detienen los flujos, áreas de dispersión y áreas deposición de flujos, embalses de decantación, zonas de dispersión forestadas, diques y canales de orientación del flujo, drenaje de presas naturales o lagos volcánicos mediante túneles, construcción de canales de drenaje, entre otros. Se requieren medidas no estructurales durante la construcción de las medidas estructurales y también después del finalizar la construcción de las obras para que puedan ser más eficientes en términos de protección. Las obras para controlar el flujo de escombros se pueden clasificar en (Fig. 6):

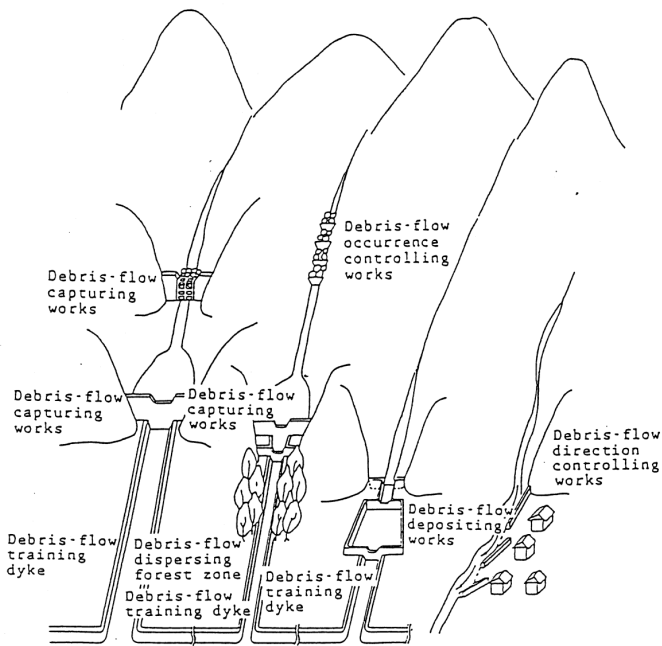


Figura 6: Esquema Principales obras para la prevención de desastres por flujos de escombros, (Fuente: T. Yamada, 1993)

- 1) Obras de reducción de la ocurrencia de un flujo
- 2) Obras que detienen el flujo.
- 3) Obras de canalización para controlar la trayectoria del flujo
- 4) Diques de orientación del flujo
- 5) Dispersión del flujo en zonas forestadas.
- 6) Embalses de decantación de los flujos.

Es necesaria una combinación de múltiples unidades o diferentes estrategias, ya que las instalaciones individuales suelen ser insuficiente. El tamaño de la instalación y las estrategias utilizadas variarán de acuerdo a las condiciones topográficas locales, la viabilidad de la construcción, el costo, la capacidad de volumen del río y fuerzas externas, etc. Lo esencial para la reducción eficaz del peligro de desastre y el daño, es la implementación de las medidas tanto estructurales como las no estructurales, juntas y en combinaciones apropiadas que respondan a las condiciones de descargas de los sedimentos de cada volcán en particular. (T. Yamada, 1993).

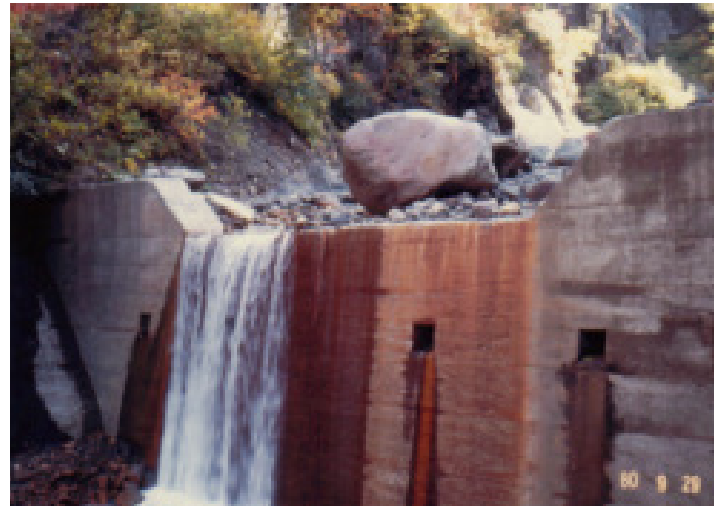


Figura 7. Presa de hormigón SABO (tipo cerrado), detiene y drena el agua del flujo de escombros. Se usa como estructura extremo aguas arriba (Fuente: Mizuyama, T.; 2008)



Figura 8. Presa SABO de tubos de acero (tipo abierto) ha atrapado grandes rocas del flujo escombros en la isla de Rishiri-Japón en 2007. (Fuente: Mizuyama, T.; 2008)



Figura 9. Presa SABO de tubos de acero, se usa como estructura extremo aguas abajo del torrente de arrastre. Su apertura es pequeña, casi igual al diámetro de las rocas transportadas en la parte delantera de flujo de escombros. (Fuente: Mizuyama, T.; 2008).



Figura 10. Presa SABO de concreto con hendidura. Las barras de acero se han instalado en la ranura, la rendija actúa como drenaje quitándole el agua al flujo y el muro detiene las rocas. (Fuente: Mizuyama, T.; 2008).



Figura 11. Muestra planta del Pueblo de Chaitén sobre una imagen de Google Earth de enero de 2013 y en rojo el trazado para el enrocado del lado sur para el año 2013 en la que se aprecian los enrocados construidos en la ribera norte el año 2010-2011.

Conocer el entorno natural como medida de mitigación, saberes del pueblo mapuche.

Como es de conocimiento socio histórico, los antiguos LOF Mapuche (comunidades Mapuche), constituyeron la base social familiar y de linaje de la estructura política del territorio Mapuche. Estos fueron instalados en un proceso de larga data, en teorías que sostienen un proceso superior a los 10 mil años.

El momento uno de la instalación de un LOF territorial Mapuche, responde a las mismas circunstancias y condiciones que se generó en todo el proceso de asentamiento humano de todos los seres humanos del mundo. Los Mapuche lo hicieron partir de concepciones cosmovisionales muy profundas, que la tierra donde se instalaron, fue entregada y asignada por la divinidad, y por entidades tutelares de poderes sobrenaturales, como que en el caso mapuche llamamos en la propia lengua vernácula, “NEWEN”.

Txeg-Txeg y Kay-Kay, ese Newen, permitió que la tierra emergiera de las aguas, y en ese espacio físico emergido, se instalaron los mapuche en el momento UNO de esos tiempos inmemoriales. Así el Epew, plantea claramente que el asentamiento UNO de los Mapuche, incidió para que se diera por principio cósmico, divino, el sentido de propiedad colectiva de su territorio. (Ñanculef, 2008).

La cosmología mapuche ubica su propio origen después de un gran diluvio provocado por la gran serpiente de los mares, Kai Kai; la otra gran serpiente de la tierra Treng Treng que habita sobre los volcanes, aconseja a los hombres de subir hasta a las cimas para protegerse; todo quedó inundado y todo comenzó de nuevo con el gran diluvio (Epeu Mapuche), esto no es otra cosa, de cómo la ciencia mapuche de la observación permanente del territorio explica los efectos de los procesos naturales de subducción en la región, la gran actividad sísmica que provoca estragos. La serpiente Kai Kai, serpiente marina representa a mi juicio, la corteza oceánica o sea, la placa de nazca que desliza por debajo de la continental representada por la serpiente Treng Treng, la serpiente de tierra, simboliza la tierra y la salvación del hombre del diluvio e inundaciones, en general de las catástrofes naturales. Es bueno enfatizar cómo la cosmogonía, las creencias, los mitos y leyendas se forjan para dar explicaciones del entorno que les rodea y que en esas circunstancias generan estrategias de sobrevivencia que se ubican entre líneas en dichas historias y también en los planteamientos verbales de los habitantes.

En mapudungun, dialecto mapuche existe una palabra “ina rumen”, palabra compuesta que significa la observación constante, de algún fenómeno o del algo que se estudia permanentemente, es lo que la cultura de los pueblos originarios han hecho por siglos, por lo que el conocimiento que dominan sobre los aspectos naturales son envidiables a la ciencia occidental, lo que vuelve su cono-

cimiento profundo y no superficial, por ejemplo yo comienzo el texto diciendo que el estrato Volcán Llaima, desde el año 1640 a la actualidad presenta 50 erupciones documentadas (conocimiento occidental), El pueblo mapuche de la zona lleva observando y conviviendo con el Ngen del volcán, siglos este registro no está en una biblioteca o en una página web, está en los conocimientos transmitidos de generación en generación a sus comunidades.

El nombre del territorio del Llaima se debe al volcán (zeguiñ) del mismo nombre. Los relatos orales y los testimonios de cronistas dicen que el antiguo nombre del volcán era Chañel, por tener la forma de una mano con sus dedos. Luego de una gran erupción, el Chañel (mano) cambió su forma, pasando a llamarse Llaima (venas de sangre). (Linker, S.; Neira, P.; Romero, I; 2011).

El ser humano, y en especial la cultura mapuche estableció y establece relaciones con la naturaleza, la que es vista como un ser vivo que interactúa con los humanos. Los Ngen son los dueños y protectores de todas las “cosas” de la naturaleza, y la fuente de donde nace el newen (fuerza) del mapuche. En la cultura mapuche hay poderes (Newen) buenos y malos, capaces de proteger, enriquecer, y darle beneficios a las personas, pero también capaces de enfermar, empobrecer y hasta matar a los enemigos de sus dueños. El mundo de las aguas: ríos, lagos y mar. El mundo de la tierra, el mundo de los cielos, el mundo subterráneo, o de las fuerzas del mal, están poblados de seres y espíritus que interactúan con el mapuche, los enferman y alivian, protegen o arruinan. (Linker, S.; Neira, P.; Romero, I; 2011).

Considerando lo anterior se hace una división del territorio mapuche en relación a ecosistemas existen territorios destinados a los Ngen donde no es posible edificar o alterar de alguna manera, estos lugares que tienen un dueño, en este contexto puedo citar el “Gillatuwe” es el espacio territorial en el cual la comunidad mapuche realiza sus rogativas y ceremonias de carácter sagrado; Los “Menoko” son ecosistemas de agua donde convergen el Agua y la Tierra, y donde se generan el nacimiento de una serie de plantas medicinales únicas en su especie. Los “Txayenko” son un espacio único expresado por un pequeño salto de agua o cascada, en muchos casos asociados al ceremonial del “gillatun”. Usualmente es reconocido como lugar propiciatorio, en el que se realizan oraciones para pedir por el bienestar personal y de la comunidad. Los “Pitxantus” son espacios eco sistémicos donde crecen asociados una serie de plantas relacionadas a la Pitxa que los hace ser un espacio único como un microentorno natural expresado en un humedal donde se recrea y mantiene un sistema de flora y fauna autóctona. Los “Malin” que son tierras bajas inundables, crece una flora y fauna endémica de humedal; Etcétera.

Todos estos y otros lugares de significación cultural están protegidos por el Ngen y por el mapuche por lo que no hay lucha entre estos dos mundos, los mapuches ubican sus casa en lugares altos

no inundables, destinan otros para agricultura, para ganadería y bosques.

En el caso particular de los riesgos asociados a los lahares ubican sus casas en lugares donde existen cerros de roca maciza (granitos) que genera un verdadero muro natural a la defensa de flujos laháricos, capaz de frenar y/o desviar el torrente; otro lugar de ubicación es a continuación de un bosque, este ayudará a detener rocas y disminuir las velocidades de los flujos que vienen desde el volcán y de cerros en pendiente; a continuación de canales, grietas, depresiones naturales que sirven como canales para desviar torrentes que vienen pendiente abajo; en lugares que hay menos productos piroclásticos como bombas volcánicas y rocas rodada cerro abajo, el tamaño de estos de igual forma es importante, esto indicaría que generalmente no llegan este tipo de producto a esa zona disminuyendo el riesgo de incendios y aplastamiento; Saber la ubicación de los ríos y riachuelos es importante a la hora de súb-

tas inundaciones por derretimiento de nieve o glaciares que están arriba en el volcán; Es importante observar si en las laderas del volcán o cerros existen formaciones rocosas o islas de vegetación que puedan desviar y reducir los tamaños de los flujos; observar la vegetación si es antigua o joven, si es antigua los flujos no pasan por esa parte si es más joven es muy probable que la vegetación antigua haya sido arrancada por los torrentes laháricos y ha nacido otra vez; El color del suelo, espesores de sus capas y las composiciones dirán si se trata de un flujo de detritos, flujo de lahar, o suelo firme. Lo observado en terreno indica claramente que las comunidades mapuches son las más protegidas frente a riesgos de lahares en el sector estudiado. Todas estas simples pero útiles observaciones son necesarias a la hora de decidir donde construir. Todas actúan directamente como obras de mitigación estructural natural. Que simplemente se centra en utilizar la naturaleza como ayuda en la prevención del riesgo disminuyendo la variable exposición al riesgo natural de lahares.

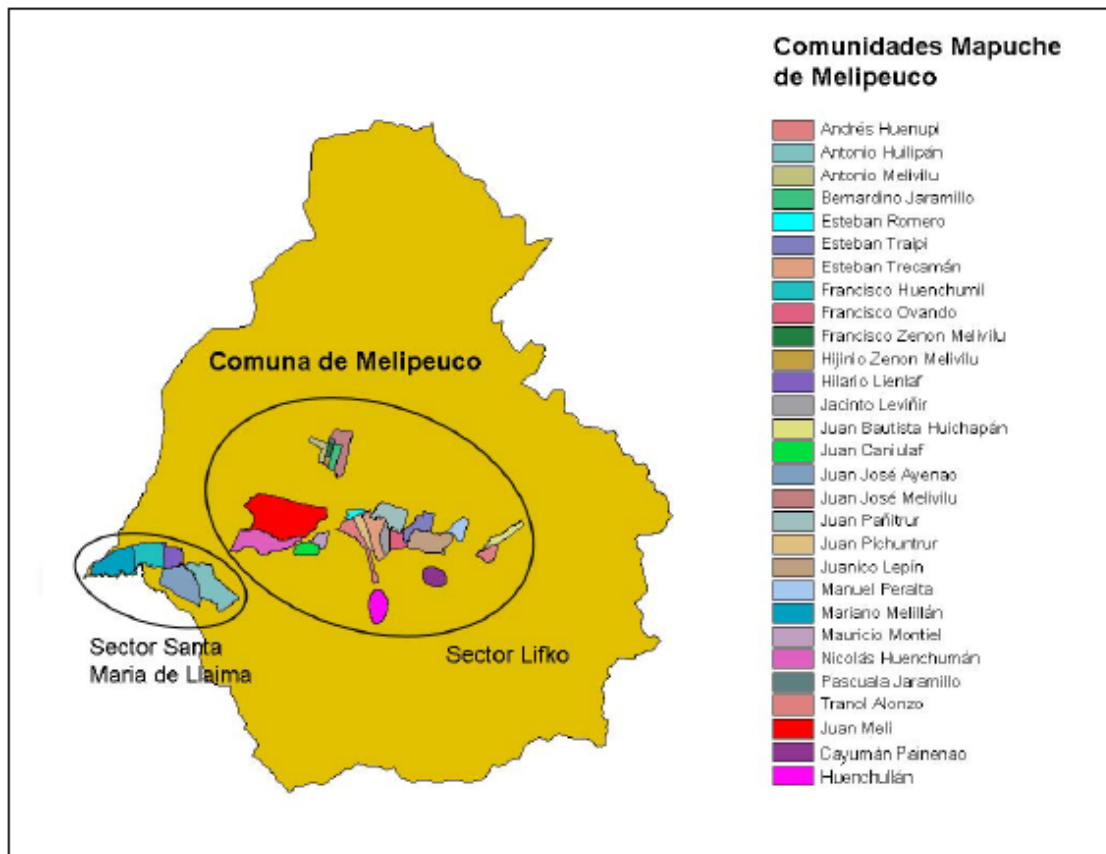


Figura 12. Mapa de comunidades mapuche de Melipeuco (Tomado y modificado de Linker, S.; Neira, P.; Romero, I; 2011)

Resultados más significativos

La cumbre y los flancos del volcán Llaima presentan seis glaciares que descienden hasta la cota 1.500 m. Entre ellos, los más extensos son el occidental y suroccidental con una superficie de unos 19 km² y un volumen total de agua equivalente estimado en 533x10⁶ m³. Se puede calcular el máximo volumen de lahar posible, multiplicando el volumen de agua equivalente por un factor de 2 o 3 para obtener el volumen de lahar. Eso da 1000 o 1500x10⁶ m³ lo que supera en un orden de magnitud los máximos mundiales de lahares generados por flujos piroclásticos. Los glaciares no se funden todos al mismo tiempo ni necesariamente en su totalidad. Con los ejemplos históricos, se podría hacer algunas estimaciones más realistas.

Para determinar el rango de volúmenes a modelar, se utilizan datos de lahares de volcanes ubicados en los Andes del Sur, Volcán Villarrica con volumen máximo de 100x10⁶ m³ y un volumen mínimo de 5x10⁶ m³, basados en las erupciones de 1940, 1948 y 1971 (Naranjo y Moreno 2004; Castruccio, 2008) y datos del volcán Calbuco con un rango de volúmenes de 5-50x10⁶ m³, erupción de 1961. (Lahsen et al., 1985; Castruccio, 2008) y el volcán Chaitén con un rango de 5-10x10⁶ m³ (SERNAGEOMIN, 2013). Por lo que, para el volcán Llaima se harán pruebas de simulación con volúmenes a partir de 1x10⁶ m³, 5x10⁶ m³, 10x10⁶ m³ y 50x10⁶ m³ con un factor H/L = 0,25 y un escenario extremo con volúmenes de 100x10⁶ m³, 500x10⁶ m³, 1000x10⁶ m³, 5000x10⁶ m³, factor H/L = 0,15 compararemos estos resultados con los mapas existentes para verificar la veracidad de la simulación.

Modelización Obtenida

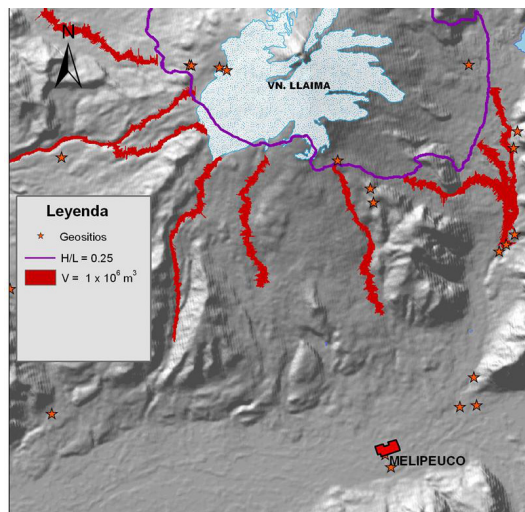


Figura 13. Zonas inundadas para un factor H/L=0,25 y un Volumen de 1X10⁶ m³, para este factor H/L y Volumen el pueblo de Melipeuco no se ve afectado. Probabilidad Alta de ocurrencia (Escala: 1:75.000)

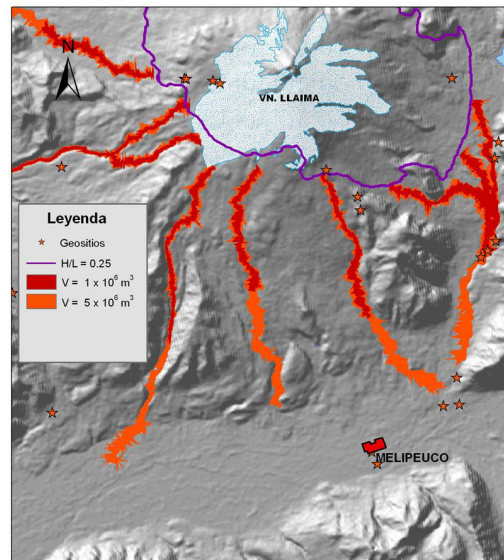


Figura 14. Zonas inundadas para un factor H/L=0,25 y un Volumen de 1X10⁶ m³ y 5X10⁶ m³, para este factor H/L y Volúmenes el pueblo de Melipeuco no se ve afectado. Pero si el lahar entra al río Truful- Truful. Podrían generarse inundaciones o pequeñas presas de material de escombros. Probabilidad media de ocurrencia (Escala: 1:75.000).

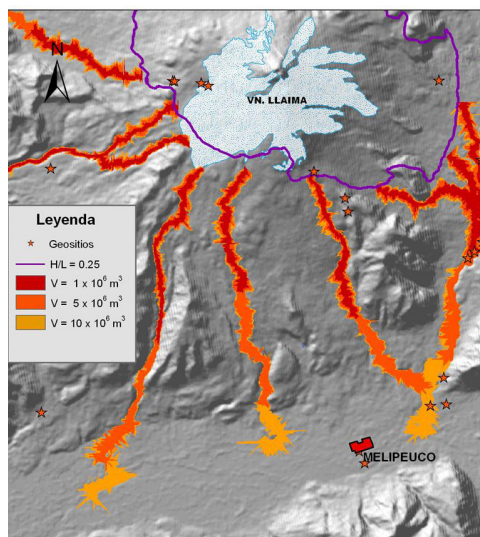


Figura 15. Zonas inundadas para un factor H/L=0,25 y un Volumen de 10X10⁶ m³, para este factor H/L y volumen el pueblo de Melipeuco no se ve afectado. Pero si el lahar entra al río Truful- Truful. Se generan inundaciones y presas de material de escombros. Probabilidad Media a Baja de ocurrencia (Escala: 1:75.000).

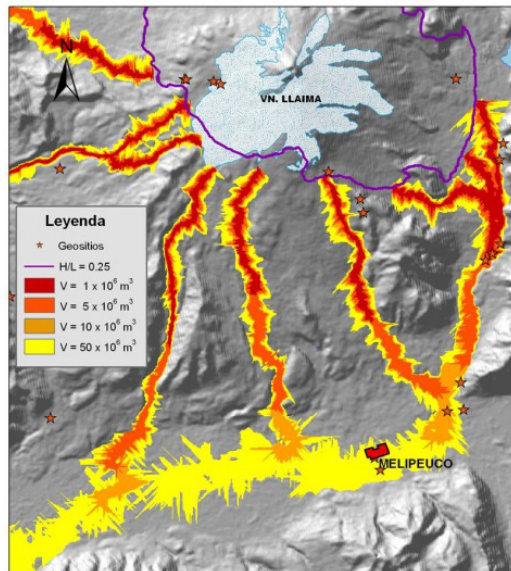


Figura 16. Zonas inundadas para un factor H/L=0,25 y un Volumen de 50x106 m3, para este factor H/L y volumen el pueblo de Melipeuco se ve afectado por el lahar. el lahar entra bloquea totalmente el río Truful- Truful. Este escenario lahárico es catastrófico para el pueblo. Probabilidad Baja de ocurrencia (Escala: 1:75.000).

Escenario extremo (baja probabilidad)

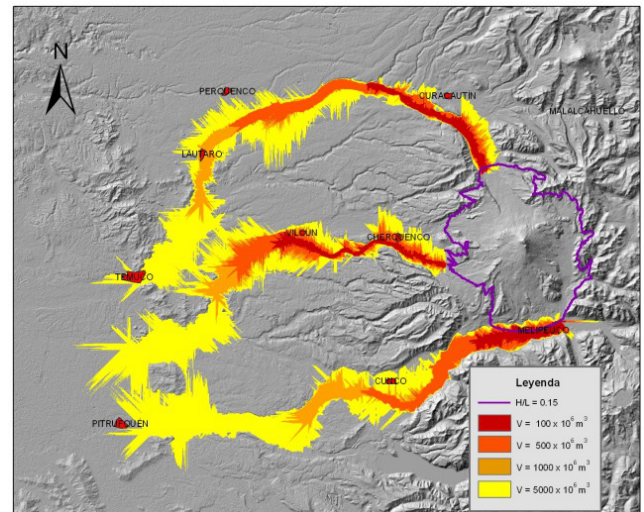


Figura 18. Para un escenario lahárico extremo poco probable con volúmenes de hasta 5000x106 m3, el pueblo de Melipeuco desaparece y los flujos laháricos llegan hasta la capital de la región Temuco, afectando a la gran mayoría de los poblados (Escala: 1:100.000).

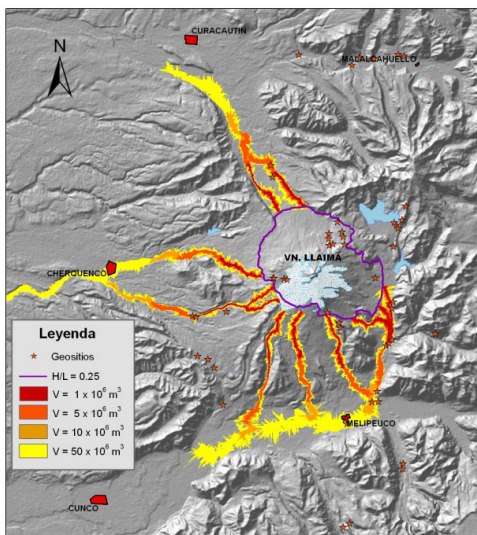


Figura 17. Modelación Resumen de posibles lahares en el volcán Llaima. Para el escenario de la figura 15 con mayor alcance panorámico, vemos que no solamente el pueblo de Melipeuco se ve afectado con el escenario lahárico con un volumen de 50x106 m3 y un H/L= 0,25 si no que también el pueblo de Cherquenco pertenece a la la comuna de Vilcún. (Escala: 1:75.000).

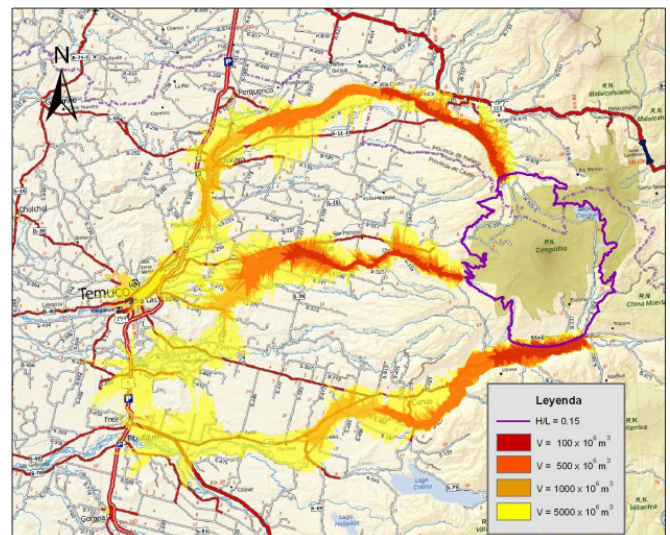


Figura 19. Muestra como se ve afectada toda la vitalidad de la región, dejandola totalmente incomunicada, con muchas perdidas en infraestructura vial, además de vidas humanas. Catastrófico total (Escala: 1:100.000).

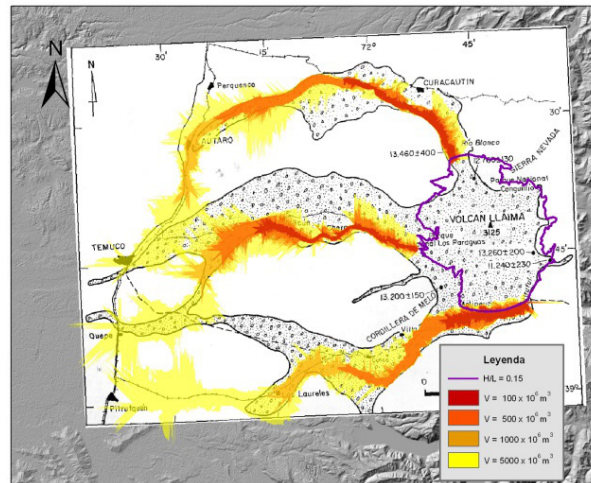


Figura 20. Muestra cartografía Área cubierta por la Ignimbrita Curacautín, hace cerca de 13 mil años (Naranjo y Moreno, 1991) con la superposición de la modelación para los diferentes volúmenes catastróficos con un factor $H/L=0,15$. Se puede observar la concordancia de las ignimbritas.

Volumen (m^3)	Caudales Máximos Q_p (m^3/s)	Caudales Máximos Q_p (m^3/s)	Área Transversal (m^2)	Velocidad	Velocidad
	Para flujos ricos en arcillas	Para flujos granulares		Suelos arcillosos (m/s)	Suelos granulares (m/s)
1×10^6	1.033	646	50	21	13
5×10^6	3.684	2.267	146	25	16
10×10^6	6.370	3893	232	27	17
50×10^6	22.717	13.663	679	33	20

Tabla 1 Determinación de Q_p aplicando la fórmula de Mizuyama (1992), utilizando los volúmenes aplicados en la modelación numérica. Área Transversal formula modificada del programa LAHARZ según Castruccio 2008 para el volcán Villarrica, se obtiene una velocidad empírica teórica en el instante en que el lahar comienza a inundar.

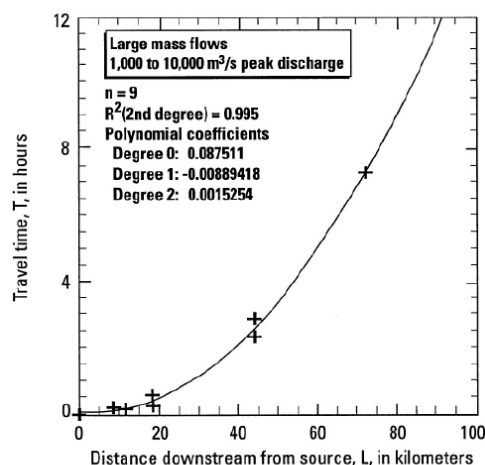


Figura 21. Utilizando los caudales entre 1.000 a 10.000 m^3/s , referidos a la tabla 1, como lahares más probables, para determinar el tiempo de viaje, en la curva de regresión de Pierson, 1998.

OBRA	Monto (\$) Pesos Chilenos
Puente Triful-Triful (longitud 98, 94 m.)	1.700.000.000
Puente Huallerope (longitud aprox. 65 m.)	950.000.000
Puente García (longitud aprox. 55 m.)	850.000.000
Puente Medina (longitud aprox. 100 m.)	2.596.907.343
Camino Melipeucolcalma (4 km)	263.241.152
Proyecto de Agua Potable	62.398.000
Total	6.422.546.495

Tabla 2. Valorización de Pérdidas en Infraestructura Vial. (Datos obtenidos en terreno con el Departamento de Emergencia de la Municipalidad de Melipeuco, 2013)

Discusión de los resultados en relación a los objetivos planteados.

Los resultados obtenidos de la modelación con LAHARZ utilizando el DEM ASTER muestran zonas de inundación demasiadas estrechas, limitadas a las inmediaciones de los cauces. Esto se debería a que los sensores satelitales captan la cubierta vegetal como la superficie terrestre, generando un terreno mucho más irregular. Este problema ha sido ya analizado por Stevens et al (2002) y Hubbard et al. (2006) y en el volcán Villarrica por Castruccio (2008) en el volcán Llaima podría ocurrir lo mismo debido a los bosques existentes en dirección a los centros poblados.

De los objetivos planteados la determinación de la velocidad no es definitiva, dado que para su cálculo se utilizan la fórmula del programa LAHARZ modificada para el volcán Villarrica por Castruccio (2008), para mayor seguridad de la obtención de este dato se debe hacer un trabajo de campo para obtener las áreas transversales de los volúmenes de los lahares en terreno para el cálculo final de la velocidad de los flujos laháricos y aplicar Pierson (1998).

No se lograron obtener datos duros en cuanto a costos de las obras de ingeniería SABO, por lo que no se pudo hacer un cálculo real sobre la inversión en costos versus beneficio en obra.

Para la planificación de las obras futuras es necesario crear un plano regulador con las zonas de peligro, zonas de menor riesgo, zonas de depositación de los volúmenes laháricos lo que involucra tiempo, recursos y la participación de la Municipalidad de la Comuna de Melipeuco.

Es necesario el rescate de la ciencia mapuche de la zona, para incorporarlo al conocimiento occidental, fundamentalmente porque la experiencia de éstos contextos socioculturales con la mayoría de los proyectos de desarrollo que los impactan (económicos, transportes y comunicación, construcción, etc.), demuestra que las prácticas culturales, económicas y sociales que dichas poblaciones establecen con los territorios y ecosistemas, al no ser consideradas terminan afectando de manera negativa tanto su calidad de vida como sus espacios y prácticas culturales. (Esto debe incorporarse en el desarrollo).

Conclusiones y Sugerencias de Mitigación Estructural

Los resultados obtenidos de la modelación con LAHARZ utilizando el DEM ASTER, coinciden con cartografías existentes de lahares y mapas de riesgo. Melipeuco y Cherquenco son los centros poblados más susceptibles a los peligros por lahares derivados del volcán Llaima.

Para el diseño de las obras se deben usar los valores de caudales más desfavorables en este caso los de los flujos ricos en arcilla, se pueden construir en las zonas demarcadas en las simulaciones obtenidas por el programa LAHARZ aplicando la cadena de obras que sugiere la ingeniería SABO, presas de restrinjan la ocurrencia del flujo, presas de contención en la parte alta de los flancos del volcán Llaima, en el descenso del flujo obras de reducción del volumen de lahares, y más cerca del pueblo obras que puedan direccionar el flujo, también es muy necesario mantener la vegetación nativa e introducida existente para que puedan trabajar como elementos de dispersión de flujo, destinar zonas de depositación de los abanicos laháricos. La región de la Araucanía es la región más pobre de Chile, además de ser la zona más activa volcánicamente, lo que hace que la población sea más vulnerable ante un evento eruptivo. Medidas urgentes y económicas de ejecutar tales como:

- 1.- Limpieza, mantención y canalización de cauce del río
- 2.- Zonificar áreas de menor riesgo para la aprobación de permisos de edificación que dependen del Director de Obras de la Municipalidad de Melipeuco. Una iniciativa de este tipo sería un aporte para una planificación futura, de forma tal de fomentar el crecimiento y desarrollo del poblado y de la comuna de manera más segura.
- 3.- Preparar al personal municipal y población en general a través de la educación para enfrentar y complementar planes de mitigación. Actualización de los planes de emergencias.

4.- La valoración en obra vial perdida solo en inundaciones de riberas ascendería a 6.422.546.495 pesos Chilenos unos 9.506.333 euros. Un enrocado como las características del Río Blanco en Chaitén tuvo un costo de 700.000.000 invertir en defensa es favorable, comparable al valor de perdida, tomando en consideración que no está incluido el costo de viviendas, siembras, servicios públicos, etc.

5.- La modelación con el programa LAHARZ utilizando el DEM ASTER, puede exagerar las zonas de inundación. Si nos apoyamos en los datos obtenidos en terreno por Quinteros, 1991 (figura 4), podemos ver que el poblado no se ve afectado directamente, los lahares pasados han rellenado la cuenca y suavizado el terreno, por lo que una nueva inundación por acción volcánica pasaría por sobre estos depósitos, lo que implica necesariamente defender las ribera norte del río Allipén para mitigar y salvaguardar el poblado de Melipeuco, es necesario trabajos en la ribera sur aguas abajo para defender de las inundaciones a comunidades mapuche aledañas al río.

7.- crear proyectos de Defensa de la Ribera en los inicios del Río Allipén Según la modelación y trabajos anteriores muestran que todos los lahares entran al curso del río, lo que implica una potencial e inminente inundación.

8.- Obra Nueva del Puente Huallupe para disminuir los terraplenes, se debe construir en el futuro puentes de mayor longitud apoyándose de fotos satelitales para que los terraplenes que intervienen en las obras de puente no actúen como diques contenedores de los volúmenes de detritos que ayudarían a la inundación. Y puentes de mayor altura para que la estructura no embanque el sedimento. 9.- Obras de despeje de Faja y Canalización de cauce de Río Allipén sobre todo en zonas de puentes que sirven para la evacuación de la población que lleva directamente al refugio construido en el 2009. Obras de Mantenimiento una vez construidas las obras es necesaria la mantención para su buen funcionamiento en el tiempo.

9.- También estudiar y evaluar las intervenciones como proyectos hidroeléctricos instalados en el río Truful-Truful, obras que influyen en la capacidad volumétrica del río.

Lo esencial para la reducción eficaz del peligro de desastre y el daño, es la implementación de las medidas tanto estructurales como las no estructurales, juntas y en combinaciones apropiadas que respondan a las condiciones de descargas de los sedimentos de cada volcán en particular y de las características sociales de su entorno (costo).

No hay que olvidar y debe tomarse en consideración el legado del pueblo originario mapuche de la zona que ha sabido y sabe convivir con el entorno natural respetando los espacios que les

corresponden a los Ngen o Pillán espíritus del volcán, rescatar la historia oral de las autoridades mapuche (lonko, machi, ancianos) que viven en la Comuna de Melipeuco para Integrar los diferentes conocimientos en la mitigación, dado que la observación es la base de toda la ciencia rescatar este conocimiento milenario para saber dónde construir y así disminuir al máximo la variable de exposición a la ocurrencia de un fenómeno natural.

Los tiempos de evacuación más desfavorables serían menores a 15 minutos, por lo que es necesario un monitoreo constante de la actividad sísmica del volcán, trabajo que actualmente desarrolla en OVDAS Observatorio de Volcanes de los Andes del Sur.

Este estudio no es definitivo, requiere de mejores modelos de elevación digital y conocimiento más detallado del volcán y sus productos, además de la indagación e incorporación de los saberes mapuche.

Agradecimientos

A Directores: Álvaro Amigo, Carolina Silva; Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN Ministerio de Minería- Gobierno de Chile); Codirector: Joan Martí, (CSIC Consejo superior de Investigaciones Científicas- Ministerio de Economía y competitividad – Gobierno de España) A Manuel Schilling (SERNAGEOMIN); A Taka Mizuyama SABO, Universidad Kyoto, Japón; A Martín Valenzuela (D.R.O.H. Xª; Dirección de Obras Hidráulicas, Región de los Lagos) y al Comité de Emergencia de la Municipalidad de Melipeuco.

Iris Hernandez morales por revisiones y opiniones.

Necul Painemal por su claridad y conocimiento filosófico mapuche.

Dedicado a Pedro Valdivia H. (1946 – 2013).

Referencias Bibliográfica

- Lopez-Escobar, L.; Parada, M.A.; Hickey-Vargas, R.L; Frey, F.; Kempton, P.D.; Moreno, H, 1995. Calbuco volcano and basaltic magmas in the SVZ of the Andes. Contributions to Mineralogy and Petrology, Vol. 119, p. 345-361.
- Moreno, H.; Naranjo, J.A.2005. Geología del Volcán Llaima, Región de la Araucanía. Servicio Nacional de Geología y Minería SERNAG-EOMIN, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, escala 1:50.000. ISSN 0717-7283.
- Moreno, H.; Naranjo, J.A.2003. Mapa de peligros del volcán Llaima, Región de la Araucanía. Gobierno de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental, escala 1:75.000.
- CASEN, 2011 Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional www.observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/layout/doc/casen/pobreza_casen_2011.pdf (consultado el 11/05/2013)
- CENSO, 2002 www.ineraucania.cl (consultado el 11/05/2013)
- Pierson, T.C. and Scott, K.M. 1999, superficial hydrologic hazards and volcanoes: Debris avalanches, lahars and floods: Processes, interpretation of deposits, and techniques of hazard assessment and mitigation. U.S. Geological Survey Open-File Report. 137 p.
- Pierson, T.C. and Scott, K.M. 1985. Downstream dilution of a lahar: Transition from debris flow to hyperconcentrated stream flow. Water Resources Research, 21: 1.511-1.524.
- Pierson, Smith & Lowe, 1991, Lahars: Volcano-Hydrologic events and deposition in the debris flow-Hyperconcentrated Flow continuum, Sedimentation in Volcanic Settings, SEPM Special Publication No. 45. Copyright © 1991, SEPM (Society for Sedimentary Geology), ISBN 0-918985-89-7.
- Iverson, R.M., and Vallance, J.W. 2001. New views of granular mass flows: Geology, Vol. 29, pp. 115-118.
- Murcia H.F, Hurtado B.O., Cortés G.P. Macías, J.L. and, Cepeda H. 2008.The ~2500 yr B.P. Chicoral non-cohesive debris flow from Cerro Machín Volcano, Colombia. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 171: 201-214.
- Quinteros. C., 1991, Estudios de los lahares del volcán Llaima, IX región de la Araucanía. Tesis de Grado de Geología. Santiago, Chile, Universidad de Chile.
- Martínez, A; Gómez, A; Hernández, T., 2006, Metodología para la Evaluación de Peligros por Lahares, Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. México.
- Pierson, T.C., 1998, An empirical method for estimating travel times for wet volcanic mass flows, U.S Geological Survey, Cascades Volcano Observatory; Bull Volcanol. 60 :98-109
- Pierson, T.C., 1995, Flow characteristics of large eruption-triggered debris flows at snow-clad volcanoes: constraints for debris-flow models. J Volcano Geotherm Res 66: 283-294.
- Mizuyama, T; Kobashi, S; Ou, G; 1992, Prediction of debris flow peak discharge, In: Proc Interpret Int Symp (bern) 4:99-108.
- Castruccio A, 2008. Comparación y Modelación Numérica de los Lahares Calientes en el Volcán Calbuco (41,3°S) y Lahares Fríos en el Volcán Villarrica (39,5°) Andes del Sur, Tesis de Magister, Santiago, Chile, Universidad de Chile.
- Huggel, C., Schneider, D., Julio, P., Delgado, H., Käb, A., 2007. Evaluation of ASTER and SRTM DEM data for lahar modelling: a case study on lahars from Popocatepetl volcano, Mexico, Journal of volcanology and Geothermal Research.
- Iverson, R., Schilling, S., Vallance, J., 1998. Objective delineation of lahar-hazard zones downstream from volcanoes: Geological Society of America. Bulletin, vol. 110, p. 972-984.
- Schilling, S., Vallance, J., Matias, O., Howell, M., 2001. Lahar Hazards at Agua Volcano, Guatemala: U.S. Geological Survey Open-File Report 01-432.
- Canuti P, Casagli N., Catani F., Falorni G., 2002. Modeling of the Guagua Pichincha Volcano (Ecuador) lahars. Physics and Chemistry of the Earth. 27 (36), p. 1587-1599.
- Stevens, N., Manville, V., Heron, D., 2002. The sensitivity of a volcanic flow model to digital elevation model accuracy: experiments with digitised map contours and interferometric SAR at Ruapehu and Taranaki volcanoes, New Zealand, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 160, Issues 1-2, p. 99-124.
- Hubbar, B., Sheridan, M., Carrasco, G., Díaz, R., Rodríguez, S., 2006. Comparative lahar hazard mapping at Citlaltépetl Volcano, Mexico using SRTM, ASTER and DTED-1 digital topographic data. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 160 (1-2), p.99-124.
- Mizuyama, T.; 2008, Sediment hazards and SABO works in Japan International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 1.



Okubo, Ikeya, Ishikawa, Yamada; 1993. Development of New Methods for Countermeasures against Debris Flows in Japan. 74-85.

Valenzuela, M., 2011, Informe Situación Actual Río Blanco de Chaitén, Puerto Month, Chile Dirección de Obras Hidráulicas, Región de los Lagos.

Resoluciones Exenta 2011, D.R.O.H. Xª Nº 65 de fecha 18 de enero 2011 y D.R.H.O. Xª Nº 1257 de fecha 29 de noviembre 2011. Región de los Lagos, Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, Republica de Chile.

Ñanculef, 2008. Informe Sociocultural de Sitio de Significación Cultural Sector Koipuko Chol-Chol, Región de La Araucanía, Unidad De Cultura y Educación, Corporación Nacional de Desarrollo Indígena, Republica de Chile.

Linker, S.; Neira,P.; Romero, I; 2011. Memorias del Llaima, Historias de comunidades mapuche de Melipeuco. Impreso en Talleres Designofpasten. Santiago- Chile. 160 p.

Bengoa, J. 2007. Historia de los antiguos mapuches del sur. Desde antes de la llegada de los españoles hasta las paces de Quilín. Editorial Catalonia. Santiago, Chile.

Moreno, H.; Naranjo, J.A.2004. Calbuco volcano historic block-and-ash and pyroclastic flows: increasing threatening on surrounding communities, Southern Andes 41,5ºS. Asamblea General IAV-CEI, Pucón, Chile (CD).

Lahsen, A., Moreno, H., Varela, J., Munizaga, F., López, L. 1985. Geología y riesgo volcánico del volcán Calbuco y centros eruptivos menores. Central Canutillar. Depto. de Geología- ENDESA. 215 p. SERNAGEOMIN, 2013, Servicio Nacional de Geología y Minería Gobierno de Chile. <http://www.sernageomin.cl/> (Consultado en 04/04/2013).

Moreno, H.; Naranjo, J. A.; López-Escobar, L. 1991. Volcán Llaima: Geología, Petrología y Riesgo Volcánico. Informe Final (inédito) Proyecto Fondecyt Nº 1048-1989-90, 98p.

Efecto de la adición de cemento en hormigones con aridos reciclados

Effect of the cement addition on recycled aggregates concrete

Viviana Letelier¹, Rodrigo Osses², Giacomo Moriconi³

^{1,2}Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera, Chile.

³Department of "Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica",
Università Politecnica delle Marche.

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Historial del
artículo:

Recibido
01-07-2014
Aceptado
01-09-2014
Publicado
10-11-2014

E-mail: viviana.letelier@ufrontera.cl, rodrigo.osses@ufrontera.cl, g.moriconi@univpm.it

Palabras Claves:
Hormigón
con áridos
reciclados,
áridos
reciclados,
propiedades
mecánicas.

Resumen

El presente estudio expone el análisis del comportamiento mecánico de hormigones utilizando un 40% de áridos reciclados. Para disminuir los efectos de los áridos reciclados, se aumento la cantidad de cemento especificado en la dosificación en porcentajes de 2.5%, 5%, 7.5% y 10%. Los estudios fueron aplicados a hormigones estructurales utilizando áridos reciclados provenientes de demolición de pavimentos y sus resultados fueron comparados con un hormigón de control. Los resultados obtenidos muestran como, un aumento en la cantidad de cemento de 7.5%, permita obtener propiedades mecánicas del hormigón con áridos reciclados similares a las de un hormigón de control

Abstract

This study presents the analysis of the mechanical behavior of concrete using 40% recycled aggregates. To reduce the effects of the recycled aggregates, the amount of cement is increased, by uprising in the dosage in 2.5%, 5%, 7.5% and 10%. The studies were applied to structural concrete using recycled aggregates from demolition of pavements and their results were compared with control concrete. The results obtained showed as an increase in the amount of 7.5% cement, allows to obtain mechanical properties of the concrete containing recycled aggregates similar to those of a control concrete.

Article history:

Received
01-07-2014
Accepted
01-09-2014
Available
10-11-2014

Keywords:
Recycled
concrete
aggregates,
recycled
aggregates,
mechanical
properties

1. Introducción

La reutilización del hormigón, como materia prima para hormigón reciclado, permite reducir significativamente el volumen de los escombros que van a terminar en botaderos y/o lugares no autorizados y, por otra parte, reduce la extracción de recursos naturales, siempre limitados, disminuyendo así el impacto realizado al medioambiente.

Aunque la tasa de reciclaje es alta en algunos países, el uso de áridos reciclados se limita a aplicaciones de baja calidad, clasificándose habitualmente según las tasas de absorción debido a la porosidad y cantidad de grietas. Alta absorción indica alto nivel de mortero adherido a los áridos reciclados, lo que generalmente conduce a un hormigón de resistencia inferior [1-2].

Datos de la literatura [3-10], han demostrado como, el uso de áridos reciclados utilizados en cantidades relativamente bajas, no modifica mayormente las propiedades del hormigón, y actualmente, diversas normativas técnicas europeas autorizan el uso de hasta un 30% de áridos reciclados en la producción de hormigón estructural.

Estudios realizados en hormigones fabricados con áridos reciclados [1-2;11-13], han permitido observar cómo, una importante diferencia en el comportamiento mecánico entre hormigones con áridos reciclados y hormigones convencionales, se debe al mortero viejo adherido a la superficie de los áridos reciclados.

El hormigón con áridos reciclados, presenta una estructura más compleja que la del hormigón convencional porque, a diferencia de este último, tiene dos zonas interfaciales. Una de estas zonas, se crea entre el árido reciclado y la nueva mezcla de cemento (nueva zona interfacial) y la otra, entre el árido reciclado y el viejo mortero adherido a su superficie (vieja zona interfacial) [1-2,11]. De este modo, será la cantidad, así como la calidad, del mortero adherido a la superficie de los áridos reciclados, uno de los principales parámetros que influenciarán el comportamiento mecánico del hormigón reciclado.

En general, a mayor porcentaje de áridos reciclados utilizados, se presentan mayores variaciones en las propiedades del nuevo hormigón debido a que aumenta la probabilidad de unión de zonas débiles [14]. Según la Monografía de la EHE, 2006 [15] sobre hormigones con áridos reciclados, al considerar una sustitución del 100% del árido grueso, las pérdidas en resistencia suelen estar alrededor del 20%; cuando la sustitución baja al 50%, las pérdidas de resistencia se sitúan entre el 2 y el 15% y cuando la sustitución se limita al 20-30%, la pérdida de resistencia suele ser inferior al 5%.

Para disminuir el efecto del árido reciclado, diversos autores [7, 10, 16], han ajustado la relación agua/cemento, aumentando la cantidad de cemento utilizado, de este modo se busca lograr resistencias deseables, comparables a las de un hormigón de control. Estos estudios, han indicado que un 5% extra de cemento puede ser necesario para compensar la reducción de resistencia. En el presente estudio, se realizaron pruebas considerando un 2.5, 5, 7.5 y 10% de adición de cemento, en la fabricación de hormigones con un 40% de áridos reciclados.

Considerando estos precedentes, la metodología propuesta busca evaluar posibles mejoras en las propiedades mecánicas de los hormigones que utilizan un 40% de áridos reciclados, a través del aumento de la cantidad de cemento.

2. Programa experimental

Debido a la amplia variabilidad de métodos utilizados para trabajar con los áridos reciclados, como una primera etapa de esta experimentación, se realizaron pruebas para analizar el método de amasado y la cantidad de presaturación necesaria para obtener menores pérdidas de resistencia respecto a un hormigón de control.

Para evaluar los métodos de amasado, se analizaron tres variaciones distintas. El primero de ellos fue el método de la norma Nch1018 Hormigón – Preparación de mezclas para ensayos en laboratorio [14], el cual consiste en agregar toda la grava, la arena, el cemento y el agua dentro de la betonera, revolver la mezcla durante 3 minutos, luego dejar reposar por otros 3 minutos, y revolver nuevamente por otros 2 minutos. Para el segundo método se utilizó un tipo de amasado ejecutado con anterioridad en ensayos con áridos reciclados, éste consistía en colocar la mitad del árido grueso en la betonera previo al inicio del mezclado. Iniciar el mezclado y colocar la mitad del árido fino y 1/3 del árido reciclado. Agregar la mitad del cemento más la mitad del agua total. Luego se agregó el resto de los áridos y lo restante de árido reciclado. Para finalizar se agregó la otra mitad del cemento y el agua. Con todos los componentes dentro de la betonera se mezcló por 3 minutos, se dejó reposar por 3 minutos y luego se mezcló por 2 minutos más. Para el tercer método se utilizó el amasado en 2 etapas [1], el cual consistía en agregar todo el árido grueso convencional como reciclado junto con el árido fino y mezclar por 60 segundos. Agregar la mitad del agua total y mezclar por otros 60 segundos. Agregar la totalidad del cemento y mezclar por otros 30 segundos. Luego agregar el agua restante y mezclar por 120 segundos. Para la realización de estos tres métodos de amasados se utilizaron áridos reciclados con 24 horas de pre saturación.

Para evitar problemas de trabajabilidad, de acuerdo a las sugerencias realizadas por distintos estudios [17-18], los áridos reciclados deberían sometidos a una pre-saturación, por esto, se realizó un análisis con distintos porcentajes de pre saturación, que nos permitiera reconocer el grado de saturación necesario para evitar mayores pérdidas de resistencia. Se realizaron hormigones con áridos sin pre saturación, con una pre-saturación de 24 horas equivalente al 80% de presaturación. Y con saturación de 48 horas equivalente a mas de un 90% de pre-saturación. Para la realización de este estudio los hormigones de prueba se realizaron siguiendo el método de 2 etapas [1]

La evaluación de las propiedades mecánicas de esta primera etapa, se realizó mediante ensayos de compresión y flexotracción. Los ensayos de compresión se realizaron a los 28 días sobre probetas cubicas de 15x15 cm y, los ensayos de flexotracción, también a los 28 días sobre probetas prismáticas de 15x15x50 cm.

Una vez determinados el método de amasado y la cantidad de pre-saturación que se aplicarían dentro del estudio, se comenzó con el análisis del efecto del aumento de la cantidad de cemento.

La evaluación de las propiedades mecánicas de los hormigones fabricados con un 40% de áridos reciclados sometidos a abrasión, se realizó mediante ensayos de compresión y flexotracción. Los ensayos de compresión se realizaron a los 7, 14, 28 y 90 días sobre probetas cúbicas de 15x15 cm y, los ensayos de flexotracción, a los 28 y 90 días sobre probetas prismáticas de 15x15x50 cm.

Caracterización de materiales utilizados

Los áridos reciclados utilizados para la fabricación de hormigones fueron obtenidos de demolición de pavimentos de hormigón. Los testigos realizados sobre el pavimento dieron una resistencia promedio de 54 MPa. Debido al mortero adherido a la superficie, los áridos reciclados presentaron una textura áspera y muy porosa, Figura 1.

Figura 1. Áridos reciclados



(a) 6.3-9 mm



(b) 9-12,5 mm



(c) 12,5-19 mm

Los valores de las densidades y absorciones de los áridos utilizados se detallan en la Tabla 1. Como se observa el porcentaje de absorción de agua no tiene una relación directa con la cantidad de revoluciones aplicadas ya que las características de los áridos reciclados varían dependiendo del hormigón de origen.

	Arena	Gravilla natural	Gravilla reciclada
Densidad Real Seca (Kg/m³)	2520	2640	2330
Absorción de Agua (%)	2,8	1,7	6.3

Tabla 1 Densidades y absorciones áridos

Para la fabricación de los hormigones se utilizó cemento clase puzolánico, grado corriente, Tabla 2.

Hormigón con áridos reciclados

Para la comparación de los resultados se realizaron tres tipos de hormigones, un hormigón de control (HC), para el cual se utilizaron solo áridos naturales y hormigones con un 40% de áridos reciclados con adición de cemento con la sigla HRXXC, donde xx corresponde al porcentaje de cemento adicionado. Para todos los hormigones, el tamaño máximo utilizado para el árido grueso fue de 19 mm. En el caso del árido reciclado, solo se realizaron reemplazos entre las fracciones entre 6,3 y 19 mm. Esto porque el tamaño del árido reciclado a utilizar influye directamente en las propiedades del hormigón, debido a que la cantidad de mortero adherido a los áridos reciclados aumenta cuanto menor es el tamaño de las partículas [20].

Los valores utilizados en la dosificación de los hormigones, los resultados registrados para los ensayos de docilidad (cono de abrams) y el contenido de aire se presentan en la Tabla 3.

		Valores	Requisitos NCh 148 Of. 68
Características Físicas y Mecánicas			
Peso Específico (g/cm ³)		2,8	
Expansión en autoclave (%)		0,1	1,0 máx
Fraguado Inicial (h:m)		02:40	01:00 mín
Fraguado Final (h:m)		03:40	12:00 máx
Resistencia Compresión (kg/cm²)			
	3 días	280	
	7 días	320	180 mín
	28 días	410	250 mín
Características Químicas			
Pérdida por Calcinación (%)		4,0	5,0 máx
S03 (%)		3,5	4,0 máx

Tabla 2 Características del cemento clase puzolánico

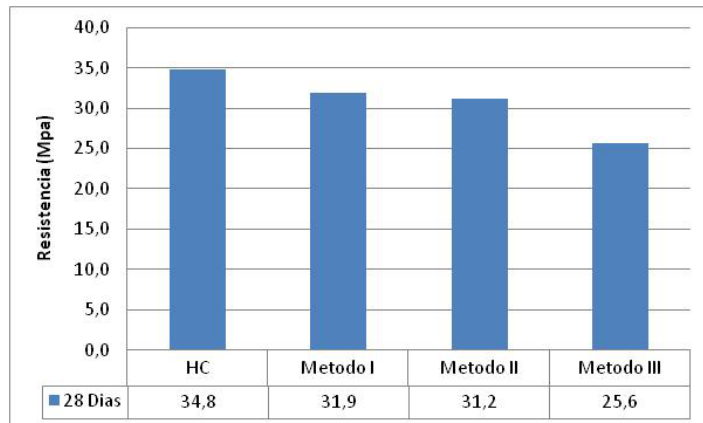
Código	HC	HR _{2,5C}	HR _{5,0C}	HR _{7,5C}	HR _{10C}
Tipo Árido	Natural	Reciclado	Reciclado	Reciclado	Reciclado
Arena (Kg)	782	782	782	782	782
Gravilla natural (2.36-19mm)	1024	302	302	302	302
Gravilla reciclada (6,3-19mm)	-	722	722	722	722
Cemento (Kg)	382	392	401	411	420
A/C	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39
Cono (cm)	4.6	3.4	5.3	2.5	2.2
Contenido de aire (%)	1.9	1.2	1.1	1.3	1.2

Tabla 3 Dosificación de hormigones y pruebas en el hormigón fresco

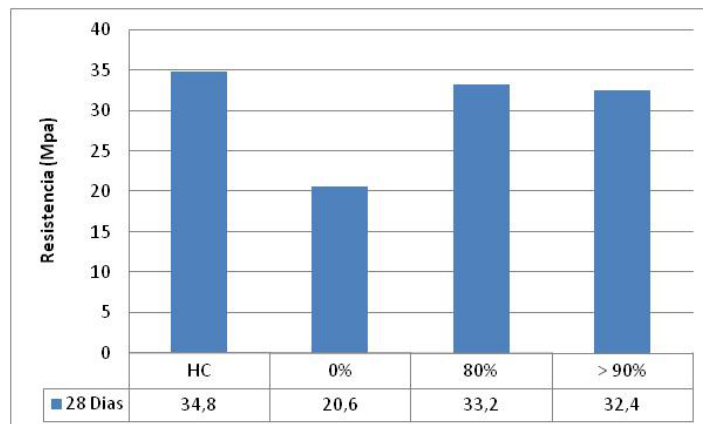
3. Resultados & Discusión

Resistencia a compresión

La figura 2, presenta los resultados de las resistencias a la compresión de los hormigones realizados por los tres distintos métodos de amasado y por los distintos porcentajes de saturación de los áridos reciclados, respectivamente. Para todas estas pruebas se utilizaron las dosificaciones HR



a) Variación método amasado



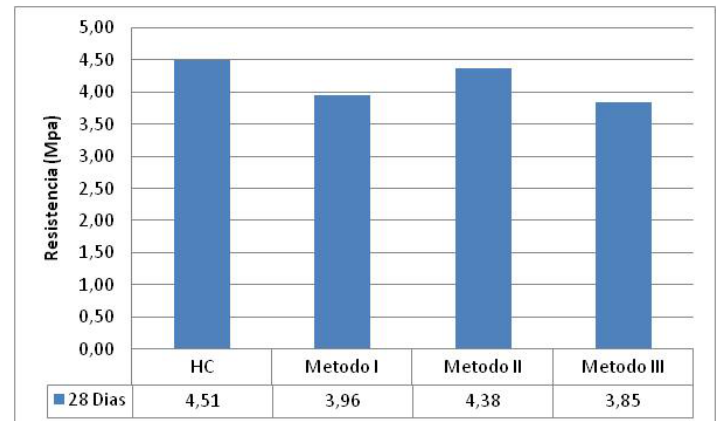
b) Variación pre-saturación áridos reciclados

Figura 2 Resistencia a compresión

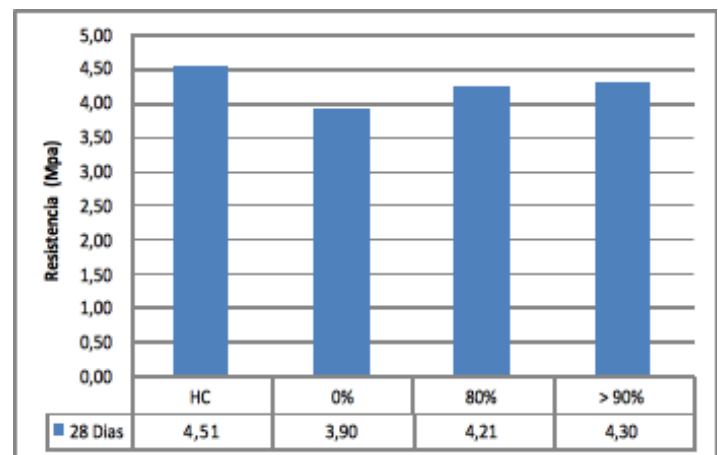
Con los resultados obtenidos se puede afirmar que el método de amasado que arrojó una resistencia a la compresión similar al hormigón de control es el método de la norma NCh1018 [16], teniendo solo una disminución del 8,4%. Para el caso de la saturación del árido reciclado, la saturación del 80% otorgó la resistencia a la compresión más equivalente al hormigón de control, solo con una disminución del 5%.

En lo que se refiere a la flexotracción el método II de amasado es el que presenta una mayor resistencia, siendo esta menor en un 3% en comparación al hormigón de control. El porcentaje de saturación que alcanzó una mayor cercanía al hormigón de control fue la > 90%, la cual era un 5% menor a este.

La figura 3, presenta los resultados de las resistencias a la flexotracción de los hormigones realizados por los tres métodos de amasado y por los tres porcentajes de saturación de los áridos reciclados respectivamente



a) Variación método amasado



b) Variación pre-saturación áridos reciclados

Figura 3. Resistencia a flexo-tracción

Por lo anterior, para realizar la experimentación relacionada a la disminución de áridos reciclados se utilizó la metodología propuesta por la NCh1018 [16] para la preparación del hormigón, con una presaturación de 24, que da como resultado una saturación cercana al 80 %.

En la Figura 4, se presentan los resultados obtenidos de las resistencias a compresión a los 7, 14, 28 y 90 días.

De la figura 4, se puede observar, como los hormigones con áridos reciclados, en comparación al hormigón de control, tengan una mayor tasa de ganancia de resistencia a los 90 días respecto a los 28 días. Esta situación, es similar a la ocurrida diversos estudios [10,23] donde, la mayor resistencia del hormigón preparado con áridos reciclados, se atribuyó a una unión más fuerte desarrollada en la zona interfacial entre la matriz de cemento y el agregado grueso. Yu and Shui, 2013 [24] postulan que durante el proceso de hidratación de los cementos, existe un porcentaje de partículas que no reaccionan, por lo que al tener los áridos reciclados mortero adherido a su superficie con partículas que no reaccionaron originalmente, es posible que al ser sometidos nuevamente a un proceso de hidratación estas partículas se reactiven, generando una mayor tasa de ganancia de resistencia. Además se considera que, el desarrollo de la unión interfacial, puede ser diferente en los hormigones con diferentes tipos de agregados debido a que el hormigón con áridos reciclados presenta un proceso de hidratación y de endurecimiento mas lento que el hormigón tradicional [14,25-26]. Un enlace más fuerte, entre el cemento y el agregado grueso reciclado, puede ser capaz de compensar, en algunos grados, el efecto negativo debido a la utilización de un agregado más débil, después de un prolongado período de curado.

Como se observa, a los 28 días sólo el hormigón con un 7,5% de adición de cemento es capaz de igualar las resistencias del hormigón de control. A los 28 días el hormigón con un 2,5% y un 5% de adición de cemento, presentaban una pérdida de resistencia de 21% y 14% respectivamente con respecto al hormigón con áridos naturales. Sin embargo a los 90 días, sólo el hormigón con un 2,5% de cemento presenta una resistencia menor del hormigón de control, siendo esta pérdida de resistencia de tan solo un 4%.

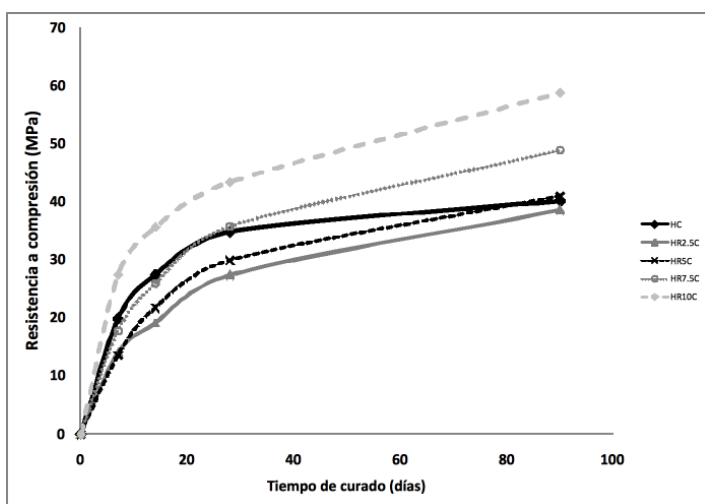


Figura 4 Resistencias a compresión a los 7, 14, 28 y 90 días

Resistencia a tracción

Los resultados de las resistencias a tracción son resumidos en la Figura 5. Como se observa, los datos no tienen mucha variación entre ellos, lo que permite concluir, al igual que otros autores, que el uso de los áridos reciclados no tiene una elevada influencia sobre este parámetro [21,27]

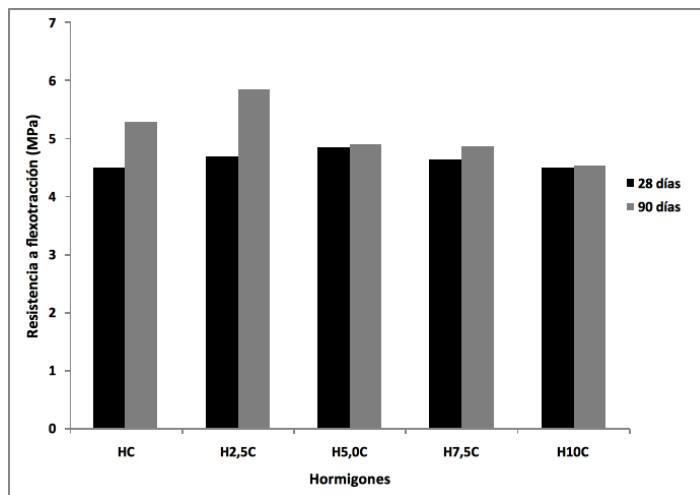


Figura 5 Resistencias a flexotracción

4. Conclusiones

Las absorciones de agua, en el árido reciclado utilizado en el estudio, se registran cerca de cuatro veces la del árido natural.

Las pruebas realizadas para determinar el método de amasado concluyen que las especificaciones dadas en la normativa NCh1018Of 2009 dan como resultado mejores resistencias a compresión, en comparación a otras metodologías propuestas por para utilizar en hormigones con áridos reciclados.

La presaturación necesaria para obtener menores perdidas de resistencia en los hormigones con áridos reciclados realizados en este estudio fue de 24 hrs.

A los 28 días, solo el hormigón con áridos reciclados con un 7.5% de adición de cemento logra igualar las resistencias a compresión del hormigón de control, obteniéndose para adiciones de 2.5% y 5% una pérdida de resistencia de 21% y 14% respectivamente. A los 90 días se observa una mayor tasa de ganancia de resistencia de los hormigones reciclados en comparación al hormigón de control, quedando solo el hormigón con áridos reciclados con un 2.5% de cemento con una resistencia menor en un 4% al hormigón con áridos naturales

Bibliografía

- [1] Tam V.W.Y., Gao X.F., Tam C.M., "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach", *Cement and Concrete Research* 35, pp. 1195-1203. 2005
- [2] Tam V.W.Y., Gao X.F., Tam C.M., Ng K.M. "Physio-chemical reactions in recycled aggregate concrete", *Journal of Hazardous Materials* 163, pp. 823-828. 2008
- [3] Xiao J.; Li J.; Zhang Ch. "Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading". *Cement and Concrete Research* 35(6) pp. 1187-1194. 2005
- [4] Rahal K., "Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate". *Building and Environment* 42(1), pp. 407-415. 2007
- [5] Tam V.W.Y.; Wang K.; Tam C.M. "Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis". *Journal of Hazardous Materials* 152(2), pp. 703-714. 2008
- [6] Padmini A.K., Ramamurthy K., Mathews M.S. "Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete". *Construction and Building Materials* 23(2), pp. 829-836. 2009
- [7] Li X., "Recycling and reuse of waste concrete in China: Part II. Structural behaviour of recycled aggregate concrete and engineering applications". *Resources, Conservation and Recycling*, 53(3), pp. 107-112. 2009
- [8] Bairagi V.K., Ravande K., Pareek V.K. "Behaviour of concrete with different proportions of natural and recycled aggregates", *Resources Conservations and Recycling* 9, pp. 109-126. 1993
- [9] Eguchi K., Teranishi K., Nakagome A., Kishimoto H., Shinozaki K., Narikawa M., "Application of Recycled Coarse Aggregate by Mixture to Concrete Construction". *Construction and Building Materials* 21, pp. 1542-1551. 2007
- [10] Etxeberria M, Vázquez E, Marí A, Barra M. "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete". *Cement and Concrete Research* 37, pp. 735-742. 2007
- [11] Poon C.S., Shui Z.H., Lam L. "Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates". *Construction and Building Materials* 18, pp. 461-468. 2004
- [12] Otsuki N, Miyazato S, Yordsudjai W. "Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete". *J Mater Civ Eng*;15(5): pp. 443-51. 2003
- [13] Lee G.C., Choi H.B "Study on interfacial transition zone properties of recycled aggregate by micro-hardness test", *Construction and Building Materials* 40, pp. 455-460. 2013
- [14] Kwan Wai Hoe, Ramli Mahyuddin, Kam Kenn Jhun, Sulieman Mohd Zailan. "Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties". *Construction and Building Materials* 26, pp. 565-573. 2012
- [15] Asociación científico-técnica del hormigón estructural Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural, Monografía (ACHE), M-11. 2006
- [16] Sami, W., Tabsh, Akmal, S., & Abdelfatah. (2009). influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction and building materials* , 25, 1165-1167.
- [17] Hormigon- Preparación de mezclas para ensayos de laboratorio, NCh 1018, 2009
- [18] Agrela F., Sánchez de Juan M., Ayuso J., Galdes V.L., Jiménez J.R. "Limiting properties in the characterization of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete", *Construction and Building Materials* 25, pp. 3950-3955. 2011
- [19] Barreto M., de Brito J., Santos A. "Métodos de evaluación de las reacciones álcali-sílice en hormigones con áridos reciclados", *Revista Ingeniería de Construcción* Vol. 24 No, pp. 141-152. 2009
- [20] Hansen, T.C. *Recycling of Demolished Concrete Masonry*, Rilem Report No. 6, E&FN Spon, London, Great Britain, pp. 316. 1992
- [21] S. Manzi, C. Mazzotti, and M. C. Bignozzi, "Short and long-term behaviour of structural concrete with recycled concrete aggregate," *Cement and Concrete Composites*, no. 37, pp. 312-318. 2013
- [22] Matias D., de Brito J., Rosa A., Pedro D, "Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates" – Influence of the use of superplasticizers, *Construction and Building Materials* 44, pp. 101-109. 2013
- [23] Letelier V., Osses R., Valdés G. y Moriconi G. "Utilización de metodologías para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural fabricado con áridos reciclados". *Revista Ingeniería y Ciencia*, Vol 10, Nº19 pp. 179-195. 2014
- [24] R. Yu, Z. Shui, "Influence of agglomeration of a recycled cement additive on the hydration and microstructure development of cement based materials". *Construction and Building Materials* 49 pp. 841-851. 2013



[25] Mas Benito, Cladera Antoni, del Olmo Teodoro, Pitarch Francisco. "Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use". Construction and Building Materials 27, pp. 612–622. 2012

[26] Evangelista L., de Brito J. "Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates", Cement and Concrete Composites 29, pp. 397-401. 2007

[27] González-Fontebo B., Martínez-Abella F., "Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. Materials and mechanical properties", Building and Environment 43, pp. 429-437. 2008



LABORATORIO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO INGENIERÍA OBRAS CIVILES
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

SERVICIOS DE NUESTRO LABORATORIO

ESTUDIO DE
MECÁNICA DE SUELOS

MUESTREO &
ANÁLISIS DE SUELOS

MUESTREO & ANÁLISIS DE
ÁRIDOS PARA DOSIFICACIÓN DE
HORMIGONES & MORTEROS

TOMA DE MUESTRAS DE
HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

EXTRACCIÓN & ENSAYO DE
TESTIGOS DE HORMIGÓN

ENSAYOS DE RESISTENCIA
MECÁNICA AL HORMIGÓN

ASESORÍAS DE
LABORATORIO

ÁREA MECÁNICA DE SUELOS
ÁREA ÁRIDOS & HORMIGONES

HORARIO DE ATENCIÓN

LUNES A VIERNES 09 A 13 HRS. & 14 A 19 HRS.
AVDA. FRANCISCO SALAZAR 01145 TEMUCO
FONO FAX 45 259 2818 LABMATERIALES@UFRO.CL



rioc.cl