

# Comparative analysis of the durable performance of materials, reinforced concrete and ashlar

Choque Sivincha, Cristhian Alfredo<sup>1</sup>, Castillo Horna, Andrea Regina<sup>2</sup>, Delgado-Meneses, Patricia C.<sup>3</sup> and Ibárcena Ibárcena, Valkiria Raquel<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Tecnológica del Perú, Perú, [u18203887@utp.edu.pe](mailto:u18203887@utp.edu.pe), [u17211238@utp.edu.pe](mailto:u17211238@utp.edu.pe), [c16692@utp.edu.pe](mailto:c16692@utp.edu.pe), [valkiria.ibarcena@gmail.com](mailto:valkiria.ibarcena@gmail.com)

*Abstract- The trend of less durable constructions brings with it a premature degradation of the housing, affecting the durability of the infrastructures. Therefore, the objective of the present work was based on the comparative analysis of the durable performance of two materials used in the construction of two social housing complexes, in this case specifically reinforced concrete and ashlar, as characteristic elements. The study applied was of mixed approach with an experimental design and cross-sectional scope. In situ measurements were made for temperature and humidity indicators in the materials, including thermographic images, and a detailed photographic record was made of the pathologies of both facades. The first phase consisted of collecting information on both climatological data and pathologies on the exterior facades of both housing complexes, and then in the second phase, quantifying, interpreting and comparing the information previously collected. The results show that the reinforced concrete building has a better performance against the pathologies found, such as: appearance of saltpeter, cracking of walls and detachment of finishes. This shows the importance of some external factors that influence the conservation of the material, such as the presence of green spaces and vegetation, helping to prevent the appearance of pathologies in the facades. Finally, this research seeks to take interest in ashlar as a local vernacular material with which to build, improving its physical and mechanical resistance with new technologies and generating further research on it.*

**Keywords-**Materials, Social Housing, concrete, ashlar.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Análisis comparativo del desempeño durable de los materiales, concreto armado y sillar

**Resumen**– *La tendencia de construcciones menos durables trae consigo una degradación prematura de las viviendas, afectando la durabilidad de las infraestructuras. Es por lo que el objetivo del presente trabajo se basó en realizar el análisis comparativo del desempeño durable de dos materiales presentes en la construcción de dos conjuntos habitacionales de vivienda social, en este caso específicamente de concreto armado y de sillar, como elementos característicos. El estudio aplicado fue de enfoque mixto con un diseño experimental y alcance transversal. Se realizaron mediciones in situ para los indicadores de temperatura y humedad en los materiales incluyendo imágenes termográficas, y se elaboró un detallado registro fotográfico sobre las patologías de ambas fachadas. Una primera fase consistió en la recopilación de información, tanto de datos climatológicos como de las patologías en las fachadas exteriores de ambos conjuntos habitacionales, para luego en la segunda fase, cuantificar, interpretar y comparar la información recopilada mencionada previamente. Los resultados demuestran que la edificación de material de concreto armado, tiene un mejor comportamiento frente a las patologías encontradas como: aparición de salitre, agrietamiento en muros y desprendimiento de acabados. Con esto, se evidencia la importancia de algunos factores externos que influyen en la conservación del material, como la presencia de espacios verdes y vegetación, ayudando a prevenir la aparición de las patologías en las fachadas. Finalmente, está investigación busca que se tome interés en el sillar como material vernacular local con el que se pueda edificar, mejorando su resistencia física y mecánica con las nuevas tecnologías y generando una mayor investigación de este.*

**Palabras Claves**-Materiales, Vivienda social, concreto, sillar.

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Realidad Problemática

La planeación en los proyectos arquitectónicos para viviendas sociales debería hacer énfasis en la calidad del ciclo de vida, considerando aspectos técnicos constructivos, funcionales y administrativos para su desempeño posterior [1]. Sin embargo, el diseño y construcción de vivienda social, generalmente se realiza sin considerar que el tiempo ocasiona la degradación natural de las edificaciones, proceso que se ve acelerado si en éstas no se han aplicado estándares mínimos de durabilidad. Esta realidad trae consigo una disminución en el bienestar y la calidad de vida de las personas y de su entorno [1]. Este problema se puede reconocer en muchos de los conjuntos habitacionales, ocasionando la aparición de patologías en las viviendas. Se puede destacar algunas causas importantes, como el impacto de la radiación que afecta a los acabados y estructura de la vivienda, la falta de mantenimiento a las

edificaciones durante su uso [2]. Algunas de las consecuencias más frecuentes son la humedad que genera corrosión en el acero [3], la aparición de salitre en los muros de albañilería confinada [4], la erosión del concreto armado que genera un deterioro en el mismo [5] y el desgaste de los enchapes en las paredes externas de las edificaciones [6]. Todo esto afecta la habitabilidad dentro de los conjuntos habitacionales [7].

### B. Revisión de la Literatura

En el contexto actual, todas las edificaciones existentes son afectadas por su entorno y pueden sufrir naturalmente una degradación física que, como prioridad se debe buscar retrasar. Sin embargo, muchas veces no se toma en cuenta la conservación y mantenimiento de la edificación, afectando a posterior el desempeño durable de la vivienda [1]. De la misma forma, siendo que la problemática de la durabilidad en la construcción no es un tema reciente, muchas veces éste no cobra relevancia en la perspectiva del diseño por su complejidad y porque genera una inversión mayor al inicio de la construcción, a pesar de que no tomarlo en cuenta, puede generar un costo mayor a largo plazo [8].

La calidad y desempeño de la edificación depende del estado en el que se encuentra la infraestructura como principal factor que puede permitir la identificación de las condiciones actuales de durabilidad en una vivienda y sobre todo la determinación de su habitabilidad [8]. Por lo que, el análisis de la durabilidad de las edificaciones, parte de la identificación de fallas más comunes para luego analizar las deficiencias más grandes [1].

El comportamiento que tiene los materiales influye en la elección del material que tenga mayor beneficio para la construcción de las viviendas sociales [9], de acuerdo con sus condicionantes [4], así como las excepciones particulares [10]. Debido a ello, un análisis exhaustivo permite definir un desempeño durable desde la concepción de la arquitectura que permita mantener en un buen estado de conservación [2].

Por consiguiente, se puede reconocer algunos puntos destacables y algunas deficiencias importantes. Dentro de los temas de la materialidad, se puede identificar una falta de investigación en lo que respecta al sillar. Desde la perspectiva de vivienda social, éste es un material poco estudiado, a pesar de que aún es muy usado en asentamientos humanos en de Arequipa, Perú. Sin embargo, se destacan algunos aportes importantes, como el análisis de las causas más importantes de

los materiales, lo cual permite obtener los lineamientos básicos de la degradación prematura de las viviendas y el análisis del concreto armado, siendo este un tema amplio y estudiado a profundidad.

La tendencia de la productividad en la vivienda social ya empieza a tomar un papel importante, por lo que, desde esta perspectiva, esta investigación toma relevancia para el desarrollo de mejoras en la durabilidad de las edificaciones, y el aporte de nuevos aspectos a tomar en cuenta para mejorar también la habitabilidad de la vivienda.

## II. METODOLOGÍA

### A. Características

Para el análisis del desempeño durable desde la perspectiva de la edificación, se consideró necesario, a través de visitas en campo, la observación de la afectación de condicionantes externas del lugar tales como la temperatura, humedad y condiciones climáticas de la ciudad donde se encuentra emplazada la construcción, en este caso de la ciudad de Arequipa. Asimismo, este estudio planteó la posibilidad de comparar el comportamiento de dos materiales presentes en la construcción de viviendas sociales, como son el concreto armado y el sillar en cuanto al nivel de deterioro presente en la edificación.

Considerando esta idea, se eligieron dos complejos habitacionales importantes en la ciudad de Arequipa: El Complejo Habitacional Nicolás de Piérola Etapa 2, el cual se denominará CONAR y El Barrio Obrero N°2, denominado CONSIL. Se distingue en estos dos conjuntos la particularidad de sus materialidades: concreto armado que es usado en muchas de las construcciones actuales presente en CONAR, y el sillar que se ha empleado en muchos de los barrios tradicionales presente en CONSIL, lo que beneficia y enriquece la comparativa y el análisis del comportamiento de estos dos materiales a través de los años y las condiciones naturales a las que son expuestos.

Se definió que se evaluaría el desempeño durable en los muros externos que componen la fachada de dichos conjuntos de vivienda ya que, por lo general, son las zonas con mayor exposición al exterior a lo largo del tiempo de vida de la edificación y donde se pueden evidenciar los mayores deterioros que resultan en patologías como: salitre, agrietamiento externo y desprendimiento de acabados.

### B. Diseño Metodológico

La metodología aplicada a esta investigación es de tipo experimental y transversal con enfoque mixto. En la primera fase cualitativa se reconoció y enlistó las patologías encontradas en las fachadas de los dos conjuntos de vivienda a través de la observación en el lugar y toma de datos del estado físico de las mismas. Este proceso se realizó desarrollando una ficha de toma de datos en la cual, para facilitar la recopilación de las patologías, se procedió a sectorizar las elevaciones y tomarlas como leyenda general de todas las fachadas.

Posteriormente, en la segunda fase se desarrolló un enfoque cuantitativo, comparando el comportamiento de la materialidad de los dos complejos habitacionales. Para ello, se midieron los niveles de temperatura con una cámara térmica y humedad en las fachadas de los complejos habitacionales con un medidor de humedad tipo pluma. Seguidamente, se cuantificó los resultados obtenidos sobre las patologías de las fachadas, clasificándolas en: aparición de salitre, el agrietamiento de los muros y desprendimiento de los acabados; y definiendo el grado de afectación que generan, en función a 3 parámetros: ubicación, causa y dimensión.

Finalmente, se compararon resultados y establecieron soluciones para el mantenimiento de los muros exteriores y fachada de la edificación que tuvo mayores evidencias de degradación.

### C. Objeto de Estudio

Primero se analizó CONSIL, este complejo es una de las edificaciones que se encuentra en uno de los barrios más representativos construidos de sillar, material originario de la ciudad de Arequipa. Inaugurado en 1945, el mismo también se ha desarrollado bajo un sistema constructivo de muros portantes, lo que caracteriza el grosor particular que tienen estas viviendas y por lo que, a su vez, condiciona su construcción de solo dos niveles.

Luego se analizó CONAR, este conjunto habitacional es una de las infraestructuras más conocidas de Arequipa y fue inaugurado en 1973, a base de arquitectura confinada con concreto armado y ladrillo. Además, cuenta con 5 niveles y con el concepto de macro manzanas generando espacios verdes y estacionamiento dentro del conjunto.

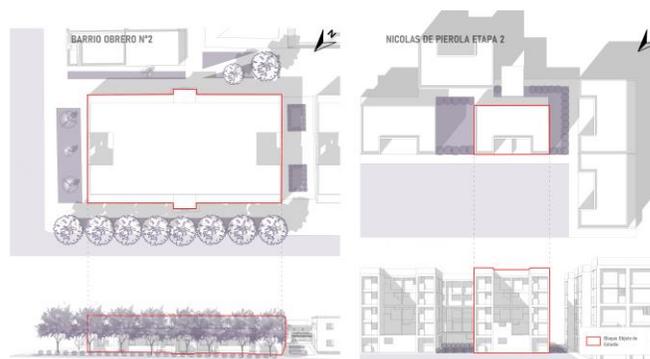


Fig. 1 Comparativa gráfica de complejos de vivienda  
Fuente: Elaboración Propia en base a Modelado 3D del Conjunto

### D. Recopilación de Datos

Para la recopilación de datos, se vio necesaria la codificación de las fachadas, de manera que esta pueda ayudar a la síntesis y comparación posterior tanto para CONSIL (Fig.2) y CONAR (Fig. 3)

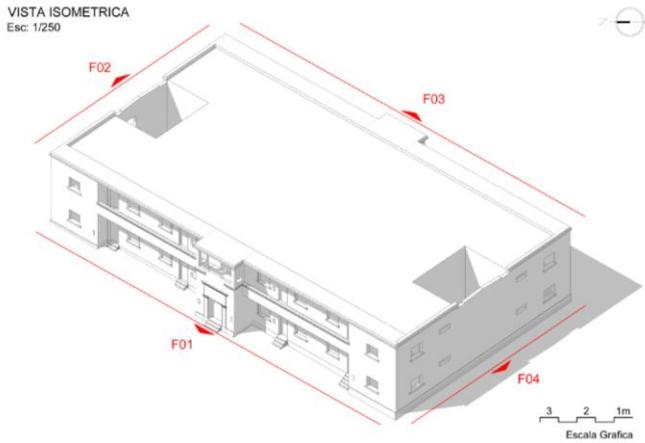


Fig. 2 Vista Isométrica Codificada del Bloque  
Fuente: Elaboración Propia en base a modelado 3D

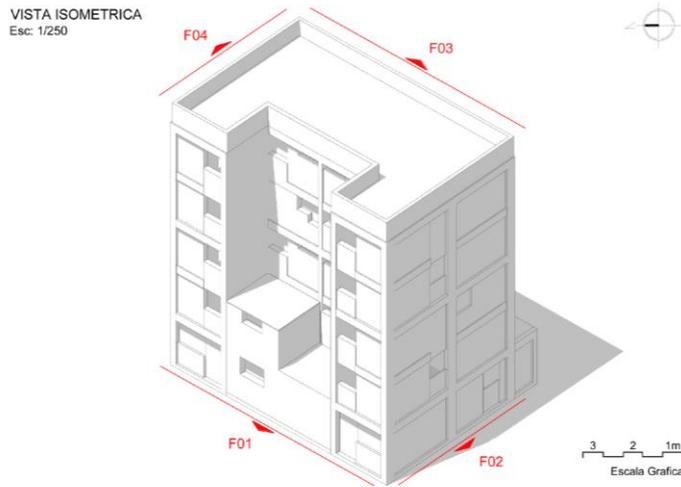


Fig. 3 Vista Isométrica Codificada del Bloque  
Fuente: Elaboración Propia en base a modelado 3D

La recogida de data se dio en dos salidas a campo para cada complejo respectivamente, utilizando las fichas de observación para patologías propuestas y validadas. Para el desarrollo de la cuantificación de las patologías se realizó mediante un registro fotográfico, las fotos tomadas en los complejos se trasladaron al programa AutoCAD, y para poder escalarlas, se tuvo que tomar las fotos desde puntos paralelos, que no distorsionaran las medidas de la fachada. Con respecto al CONSIL, los puntos para la toma de fotos se dieron de forma más sencilla gracias a que presenta solo dos niveles. Estas se pudieron tomar desde la misma calle o zonas aledañas al bloque (Fig. 4). Por otro lado, en CONAR se presentó una situación distinta, debido a que el bloque tiene dos fachadas libres y dos fachadas cercanas a otros edificios; por lo que las

fotos se tuvieron que tomar desde dos puntos: uno desde el primer nivel, lo que abarcó los dos primeros pisos, y, para los niveles superiores, se pidió permiso a los propietarios de las viviendas de los bloques frente al que se está estudiando, estos ubicados en tercer o cuarto nivel, de manera que se puedan tomar las fotos de la fachada de manera correcta (Fig. 5). De esta forma, las fotos permitieron una mayor precisión para la cuantificación de las patologías.



Fig. 4 Punto de toma de fotos en Barrio Obrero N°2  
Fuente: Elaboración Propia en base a modelado 3D

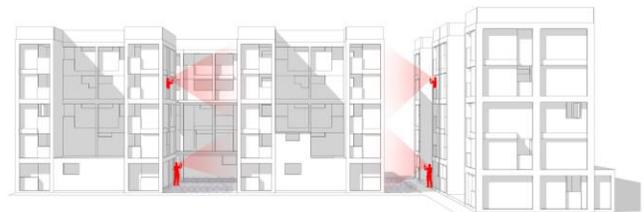


Fig. 5 Punto de toma de fotos en Nicolás de Piérola 2 Etapa  
Fuente: Elaboración Propia en base a modelado 3D

Para evaluar cada patología, la ficha de observación incluyó el detalle de los puntos medibles que se iban a considerar, el tipo de patología (agrietamiento, desprendimiento, salitre) y el grado de afectación que tiene el bloque de acuerdo con lo anteriormente mencionado. Los factores que consideraron para el agrietamiento son: la ubicación, el espesor, cantidad e identificación de la apertura. En el caso de la cuantificación del salitre y los desprendimientos en muros, se consideró el área y la cantidad identificada en los muros. Con esto, las imágenes se escalaron en base a una medida conocida de referencia, de manera que la representación de la patología tenga una mayor precisión; es así como se obtuvieron todos los resultados necesarios para la cuantificación de las patologías en cada bloque.

### III. RESULTADOS

#### A. Interpretación y Comparativa de Datos de Temperatura y Humedad

Para el caso de la temperatura, se utilizó el análisis solar previo, para determinar los sectores que presentan mayor incidencia solar durante el día. Se observó que la fachada Norte y NorEste son las zonas donde el sol refleja mayor temperatura. Por otro lado, las fachadas Sur y SurOeste, son afectadas, pero en menor medida y por la tarde, donde la incidencia del sol se da con menor intensidad. Se puede ver en la Figura 6, se analizó la temperatura y humedad de los meses del año hasta la llegada del equinoccio, determinándose que

los meses de setiembre y octubre eran los que presentaban las temperaturas más altas, por lo que las mediciones se realizaron en el rango de estos dos meses. En este caso en cuanto a la humedad, estando en una temporada seca, tal como se observa en la figura 7, la humedad va a disminuir durante el día, donde existe una mayor incidencia solar, y aumentará en la tarde, cuando la temperatura baje. Por ello, la temperatura promedio se encuentra entre los 21° y los 25°, favorecido por el inicio de la primavera, y la humedad varía entre los 33% a 30 siendo también adecuada para la recolección de datos.

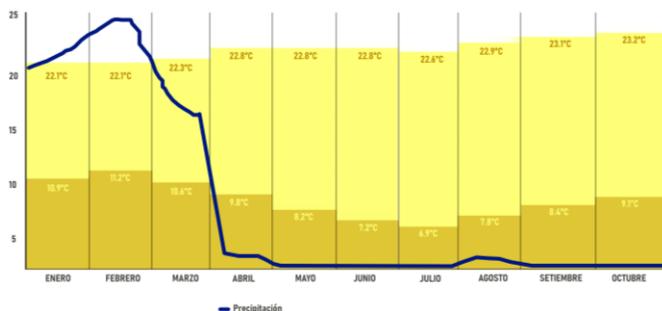


Fig. 6 Análisis Mensual de Temperatura y Humedad

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de la plataforma SENHAMI

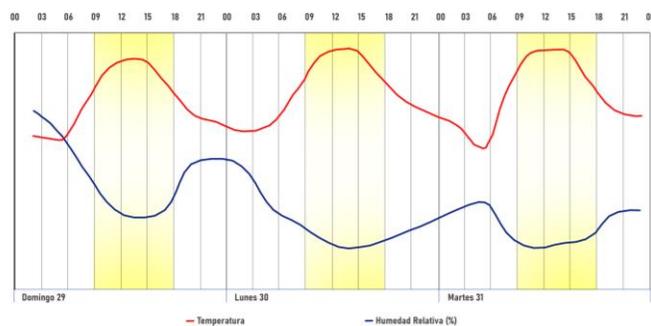


Fig. 7 Análisis por hora de Temperatura y Humedad

Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de la plataforma METEORED

Debido a este análisis previo, se determinó los horarios de medición de la temperatura y humedad, considerando una de estas dos variables, y se determinó la semana del 23 al 29 de octubre del 2023 para la medición de los complejos. Los días exactos se establecieron de acuerdo con la disponibilidad de tiempo, y el rango de horario para el uso de los instrumentos y, de acuerdo con la Figura 7, se determinó el rango de horario, entre las 10:00 am hasta las 3:00 pm, aproximadamente, al igual que se tomó dos días para la salida a cada complejo. Se estableció la utilización de una cámara térmica para medir la temperatura de los materiales en cada fachada de acuerdo con su orientación, y un medidor de humedad tipo pluma para determinar la humedad relativa en los materiales en función a sus características y cercanía a espacios verdes.

Los resultados permiten observar que en CONSIL (Figura 8), en la fachada NorOeste tiene una menor temperatura

gracias a la presencia de la vegetación y la sombra que genera el mismo edificio, y por el contrario, en la fachada SurOeste hay una presencia de mayor temperatura.

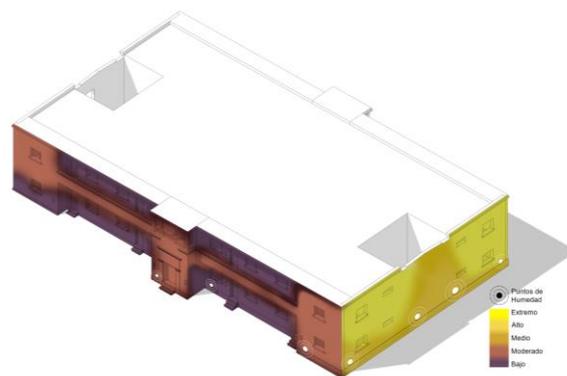


Fig. 8 Análisis Térmico y de Humedad en Barrio Obrero N°2 – Fachadas NorOeste y SurOeste

Fuente: Elaboración Propia en base a datos de salida de campo

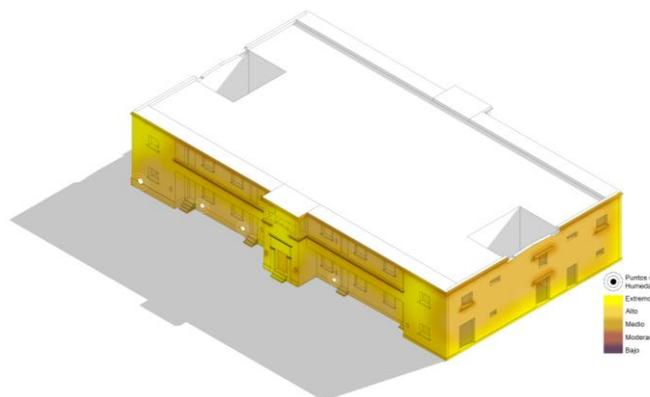


Fig. 9 Análisis Térmico y de Humedad en Barrio Obrero N°2 – Fachadas NorEste y SurEste

Fuente: Elaboración Propia en base a datos de salida de campo

Por el contrario, en la Figura 9, se puede observar que la coloración predominante amarilla indica que la fachada que tiene mayor temperatura es la NorEste y SurEste, favorecida por la orientación del sol, y gracias a que el sillar es un material poroso y absorbe con facilidad el calor.

Por otro lado, se tuvo CONAR, éste se compone de concreto armado y ladrillo, lo que conllevaría a tener características y propiedades diferentes a las vistas en el sillar.

Se puede ver en la Figura 10 de igual forma que la fachada NorOeste tiene mayor temperatura, ya que se encuentra más expuesta a la incidencia solar, y se diferencia de la fachada SurOeste la cual por la presencia de vegetación reporta menores temperaturas.

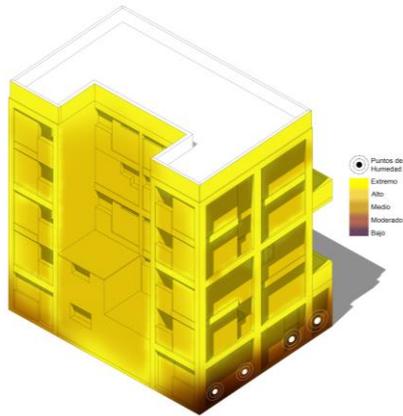


Fig. 10 Análisis Térmico y de Humedad en Nicolás de Piérola 2 Etapa - Fachadas NorOeste y SurOeste  
Fuente: Elaboración Propia en base a datos de salida de campo

En cuanto a la Figura 11, sucede lo mismo, el concreto armado distribuye la temperatura, y en la zona inferior por la presencia de áreas verdes existe una menor temperatura, pero una mayor presencia de humedad.

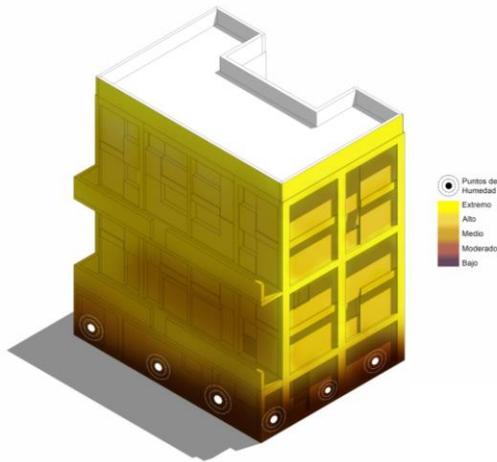


Fig. 11 Análisis Térmico y de Humedad en Nicolás de Piérola 2 Etapa - Fachadas NorEste y SurEste  
Fuente: Elaboración Propia en base a datos de salida de campo

De acuerdo con la síntesis de resultados, se pudo resaltar algunas diferencias importantes:

TABLA I  
COMPARACIÓN DE MEDICIÓN EN COMPLEJOS DE VIVIENDA

	Barrio Obrero N°2	Nicolas de Piérola
Temperatura	Máximo de 32.6°C en fachada norte del Bloque	Promedio de 33.5°C en fachadas tanto norte como sur
	Variación de 7°C promedio en el sillar	Variación de 9°C promedio en el concreto armado

Humedad	Promedio de Humedad de 8%	Promedio de Humedad de 12%
		Humedad relativa de 1% en fachada norte

Las diferentes variaciones en cada bloque tienen un efecto en la aparición y la predominancia de distintas patologías.

*B. Evaluación y comparativa de los materiales, determinando su impacto*

Con los datos obtenidos en el análisis del punto anterior, se pasó a estimar el impacto de las patologías en el bloque general. Para ello, se desarrollaron cuadros síntesis en base a dos niveles de evaluación para tratar de obtener un resultado más preciso: En primer lugar, se realizó un análisis basándose en la estimación del impacto por patología en base a cada fachada, reconociendo su efecto en 3 rangos: leve, moderado y severo, ya que todas las lesiones no se encuentran en grados iguales; posterior a ello, se pudo estimar el porcentaje de afectación por patología. En segundo lugar, considerando la superficie de la fachada como área total (sin considerar vanos de puertas y ventanas) se calculó el área de las lesiones en porcentaje, para estimar su efecto. Todo ello, para poder concluir de forma más cuantitativa en que material tiene un mejor desempeño durable.

TABLA II  
SINTESIS DE IMPACTO DE PATOLOGIA - BARRIO OBRERO N°2

BARRIO OBRERO N°2							
		ESTIMACIÓN DE GRADO PATOLOGÍA			ÁREA TOTAL	ÁREA PATOLOGÍA	PATOLOGÍA EN %
		Leve	Moderado	Severo			
F01	Desprendimiento	50.00%	18.75%	31.25%	194.1634 M2	3.7241 M2	1.91%
	Agrietamiento	33.33%	50.00%	16.67%			
	Salitre	66.67%		33.33%			
F02	Desprendimiento	66.67%	33.33%		122.1938 M2	18.1535 M2	14.00%
	Agrietamiento		42.86%	57.14%			
F03	Desprendimiento	73.33%	20.00%	6.67%	194.1634 M2	3.8092 M2	1.96%
	Agrietamiento	100.00%					
F04	Desprendimiento		60.00%	40.00%	132.9392 M2	14.5751 M2	10.96%
	Agrietamiento		100.00%				

Para el primer complejo, CONSIL, se determinó que existe una mayor degradación en la Fachada direccionada al norte (F02), la cual, presentó un 57.14% de daños severos. Como se puede ver en la Figura 12, la zona negra corresponde al área de la fachada, y de amarillo se muestra el área de las patologías.

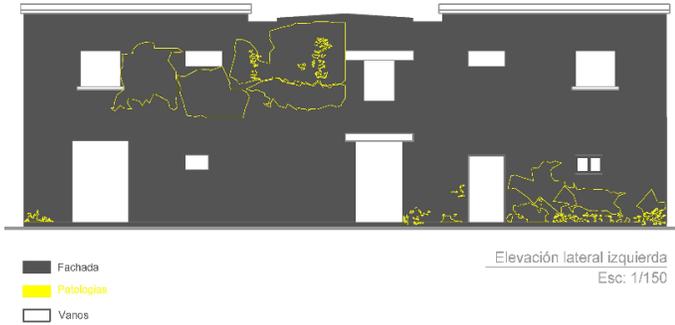


Fig. 12 Determinación de impacto final en Fachada F02  
Fuente: Elaboración Propia en base a procesamiento de datos

La determinación del daño de todas las fachadas se muestra en la Tabla II, de la cual se realizó el mismo procedimiento anteriormente explicado para cada una de las mismas.



Fig. 13 Determinación de impacto final en Fachada F01  
Fuente: Elaboración Propia en base a procesamiento de datos



Fig. 14 Determinación de impacto final en Fachada F03  
Fuente: Elaboración Propia en base a procesamiento de datos

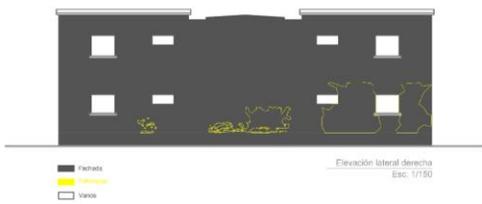


Fig. 15 Determinación de impacto final en Fachada F04  
Fuente: Elaboración Propia en base a procesamiento de datos

TABLA III  
CUADRO SINTESIS DE IMPACTO DE PATOLOGIA - NICOLAS DE PÍEROLA

		NICOLAS DE PÍEROLA 2 ETAPA			ÁREA TOTAL	ÁREA PATOLOGÍA	PATOLOGÍA EN %
		ESTIMACIÓN DE GRADO PATOLOGÍA					
		Leve	Moderado	Severo			
F01	Desprendimiento	88.24%	11.76%		132.210 M2	0.9288 M2	0.70%
F02	Desprendimiento	66.00%	17.00%	17.00%	105.865 M2	3.4990 M2	3.30%
	Agrietamiento	100.00%					
F03	Desprendimiento	66.67%	33.33%		118.9645 M2	2.3790 M2	1.99%
	Salitre	66.67%		33.33%			
F04	Desprendimiento	50.00%	16.67%	33.33%	102.760 M2	1.8878 M2	1.83%
	Salitre	60.00%	40.00%				

Siguiendo la misma metodología explicada anteriormente, en el complejo CONAR, se identificó una menor cantidad de patologías halladas, así como de menor grado. Para la fachada lateral derecha (F02), que es la que mayor daño presenta, se tiene una superficie de 105.865 m<sup>2</sup>, un área dañada de 3.4990 m<sup>2</sup>, siendo el 3.30% (Fig. 16). Y de igual forma, la estimación de daño en las fachadas se puede observar en la Tabla III.



Fig. 16 Determinación de impacto final en Fachada F01- F02  
Fuente: Elaboración Propia en base a procesamiento de datos

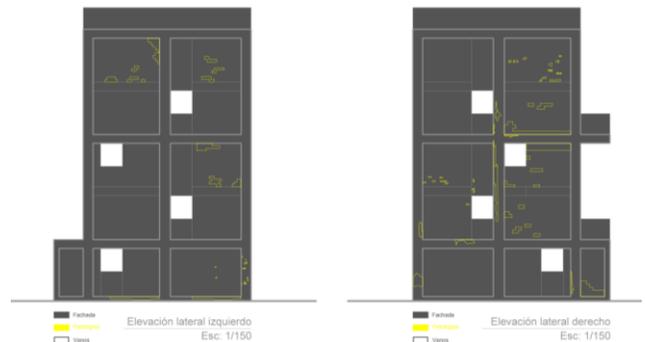


Fig. 17 Determinación de impacto final en Fachada F03- F04  
Fuente: Elaboración Propia en base a procesamiento de datos

Con los resultados de ambas edificaciones, se procedió a hacer la comparación de los dos bloques, en función a cada fachada, reconociendo la diferencia de daños que presenta cada material en los muros. Como se puede observar en la

Tabla IV, un mayor porcentaje de daño en el bloque del CONSIL en comparación del que existe en CONAR.

TABLA IV  
CUADRO DE SUMATORIA TOTAL DE PORCENTAJES DE  
PATOLOGÍAS POR COMPLEJO HABITACIONAL

Complejos / Fachadas	F01	F02	F03	F04	TOTAL
Barrio Obrero N°2	1.91%	14.85%	1.96%	10.96%	29.68%
Nicolas de Pierola Etapa 2	0.70%	3.30%	1.99%	1.83%	7.82%
				Porcentaje de degradacion	37.50%

Para estimar la comparación, se consideró el total de todas las patologías, como se puede observar en la Tabla IV, y con el porcentaje de cada bloque se estimó en promedio el porcentaje de impacto que existe en cada material. Considerando este porcentaje de daño general en los dos bloques, se estima que el concreto armado como material en CONAR, tiene un mejor comportamiento que el sillar, encontrado en CONSIL, en un 79.15%.

TABLA V  
CUADRO COMPARATIVO DE DEGRADACIÓN POR COMPLEJO  
HABITACIONAL

Porcentaje total de degradacion de ambos conjuntos	37.50%	→	100%	Porcentaje de degradacion
Degradacion Total Barrio Obrero N° 2	29.68%	→	79.15%	
Porcentaje total de degradacion de ambos conjuntos	37.50%	→	100%	Porcentaje de degradacion
Degradacion Total Nicolas de Pierola	7.82%	→	20.85%	

Se concluye, que el complejo de CONSIL, que presenta estructura de sillar tiene el mayor deterioro, condicionado también por la diferencia de años que tiene la construcción, por lo que en futuras investigaciones sería necesario complementar con una guía de mantenimiento para edificaciones similares.

## V. DISCUSIÓN

Tal como indicaba [12], las construcciones son propensas a sufrir daños por calor y humedad, se ha visto en la revisión de diversas edificaciones a lo largo del mundo, por lo que el mantenimiento es imprescindible para evitar afectar duramente a la capacidad de estos; los resultados del análisis incidencia solar y humedad del presente estudio confirman el impacto que dichos factores ejercen sobre el comportamiento de los materiales.

Igualmente, el reconocimiento de las patologías para entender el desempeño durable en los materiales resulta un método factible. Es por lo que se acogió la metodología de [2] con un enfoque mixto, la cual permite realizar la comparativa entre los materiales del sillar y concreto armado.

Sin embargo, a diferencia de las investigaciones realizadas en las que utilizaron solo fichas de observación y cámara fotográfica para contabilizar las patologías en cada vivienda, en este estudio, se desarrolló un trabajo a través de fotos escaladas en AutoCAD, con una sectorización de las elevaciones de las fachadas, y tomando las mediciones de este. [6], resalta principalmente el porcentaje de aparición de la patología en las viviendas que desarrollo, que se toma en consideración en esta investigación y la definición de las patologías que se identificaran en los bloques escogidos en los conjuntos de vivienda, pero se complementa la misma información con la determinación del impacto que poseen estas patologías en las fachadas

El método comparativo, utilizado también en esta investigación, es ampliamente usado por otros autores como base para la identificación de patologías; es así como [1] establece la comparación entre 4 viviendas en Buenos Aires, resaltando la aparición de lesiones en su envolvente, [2] realiza una comparación de igual forma en 4 conjuntos de vivienda, resaltando la patología en los acabados, y [6] compara dos conjuntos habitacionales, resaltando las lesiones en los revestimientos de las paredes. Se podría decir que, en este estudio, la comparación se ve enriquecida porque los conjuntos habitacionales tienen diferentes materiales, siendo uno de ellos originario de la ciudad y poco estudiado.

## VI. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Las mediciones realizadas con los instrumentos (cámara térmica y medidor tipo pluma) permitieron determinar en función a la incidencia térmica, que el conjunto habitacional con fachada de sillar amortigua mejor que el complejo de construcción en concreto armado; esto se da porque el primero cuenta con una barrera verde de similar altura a la del conjunto habitacional en sus tres fachadas lo que permite una mejor mitigación a nivel de temperatura. Por el contrario, en el complejo Nicolás de Piérola, si bien existen también áreas verdes aledañas en tres de sus fachadas, están con vegetación no superan los 2 metros de altura, haciendo que los demás niveles queden al descubierto. De igual forma, se advierte la influencia de las diferencias de niveles entre ambos complejos ya que uno cuenta con solo 2 niveles, por la materialidad de sillar que presenta, y la otra cuenta 5 niveles, por las facilidades que da la materialidad del concreto armado.

Por otro lado, el mayor porcentaje de patologías detectadas en el Barrio Obrero se deben a fisuras y desprendimientos, esto debido a la falta de mantenimiento en la mayoría de las fachadas, además de que el sillar es un material hidrófugo, lo cual incrementa la rotura y despegue de los acabados. Caso contrario sucede con el complejo Nicolás de Piérola ya que este reporta mayor porcentaje en patologías por desprendimiento y humedad, esta última debido al hecho de que mantiene un contacto directo con áreas verdes

generando así salitre en los muros, por la baja porosidad del concreto armado.

En el caso de los resultados de patologías, se obtuvo que la edificación en sillar cuenta con un mayor porcentaje de patologías (29.68%); siendo las fachadas norte y sur las más propensas a presentarlas, situación que se agrava por mayor exposición al sol y por no contar con barreras verdes (caso de la fachada norte). Asimismo, con respecto de salitre existen dos fachadas del mismo complejo que muestran mayor deterioro siendo en los muros bajos, donde mantienen contacto directo con el área verde.

Se recomienda en futuras investigaciones realizar el reconocimiento de las patologías a nivel interior de origen físico, químico o biológico y que se añada análisis de laboratorio, de manera que se pueda evaluar las patologías a mayor detalle para cuantificar el daño real del conjunto habitacional y con ello tener resultados más precisos y poder realizar un diagnóstico completo del complejo. Además, con ello se podría formular una guía que permita mitigar los efectos de deterioro encontrados en función a cada material.

Por último, se recomienda a futuros investigadores enfocarse en estudios sobre el sillar, caracterizando su resistencia física y biológica, con el fin de preservar este material muy particular de la ciudad.

## VII. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Tecnológica del Perú por el apoyo incondicional en el trabajo de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] R. Dunowicz y R. Hasse, “Diseño y gestión de la vivienda social”, *Revista INVI*, vol. 20, núm. 54, 2005, doi: 10.5354/0718-8358.2005.62173.
- [2] D. M. Artilles, “Diseño arquitectónico y desempeño durable de la vivienda social”, *Arquitectura y Urbanismo*, vol. XXVIII, núm. 1, pp. 48–54, 2007, Consultado: el 26 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376839851008>
- [3] B. Chiné, R. Cuevas, R. Jimenez, y G. Ortiz, “Estudio experimental de la carbonatación del concreto”, *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 32, núm. 2, pp. 68–81, may 2019, doi: 10.18845/tm.v32i2.4350.
- [4] M. Muñoz, “Patologías en la edificación de viviendas sociales, especialmente con la humedad”, Universidad Austral de Chile, 2004. Consultado: el 16 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/bmfcim971p/pdf/bmfcim971p.pdf>
- [5] N. A. García, “Primordiales Problemas de la Durabilidad del Concreto: Una Revisión General”, 2020. Consultado: el 8 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30408>
- [6] F. Sánchez Rodríguez, L. Pinheiro, F. Sánchez García, B. Araujo, y L. Teixeira, “Manifestaciones patológicas en viviendas de interés social”. Consultado: el 16 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376865021003>
- [7] G. Hernández y S. Velásquez, “Vivienda y calidad de vida. Medición del hábitat social en el México occidental”, *Bitacora Urbano Territorial*, vol. 24, núm. 1. 2014. Consultado: el 26 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-79132014000100149#fn9](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-79132014000100149#fn9)

- [8] O. Hernández y C. Mendoza, “Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico”, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 7, núm. 1, pp. 57–70, 2006, doi: 10.22201/ii.25940732e.2006.07n1.005.
- [9] S. Bejarano y F. Mendoza, “Análisis comparativo de unidades de sillar en muros de albañilería para vivienda.”, p. 245, 2017, Consultado: el 26 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.oducal.com/Record/ir-UCSM-9487>
- [10] M. Juárez y J. Loayza, “Análisis y evaluación de la vulnerabilidad sísmica y estados de daño en monumentos históricos de sillar en el barrio de San Lázaro – Arequipa”, Bachiller, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, 2015. Consultado: el 19 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/198130494.pdf>
- [11] D. M. Artilles, “Calidad y desempeño durable de las viviendas. La percepción de sus residentes”, *Arquitectura y Urbanismo*, vol. XXVIII, núm. 2, pp. 34–39, 2007, Consultado: el 8 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376839852004>
- [12] C. Sotomayor, “Una mirada a la durabilidad y sostenibilidad de las construcciones en concreto armado del siglo XXI.”, *Artículo técnico N°1*, pp. 1–5, ene. 2019, [En línea]. Disponible en: <http://consultcreto.com/pdf/mirada.pdf>