



# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL PALACIO DE PURUCHUCO, UBICADO EN EL VALLE DEL RIMAC, LIMA, PERÚ

María Angélica Guevara Lactayo<sup>1</sup>, Bellice Ego-Aguirre Bazan<sup>2</sup>

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

<sup>1</sup>mguevaralactayo@yahoo.es; <sup>2</sup>bellice1@gmail.com

**Palabras clave:** elemento arquitectónico, material, comportamiento térmico, clima

## Resumen

La construcción del Palacio de Puruchuco surge de la unión de la tradición de grupos locales desarrollados durante el Intermedio Tardío, y los de influencia Inca. Está ubicado en el valle del Rímac, Lima, Perú y sirve de residencia de la máxima autoridad local, vinculada al inca, desarrollándose además tareas económicas, administrativas y religiosas. En este trabajo se estudiara la relación de este elemento arquitectónico con el medio natural en el que está inserto verificando su adecuación. El objetivo principal del estudio es realizar una evaluación del comportamiento térmico del Palacio de Puruchuco teniendo en cuenta su configuración y organización física y el impacto sobre él de los elementos del clima que forman parte del medio natural donde se ubica, para evaluar su respuesta y adecuación al mismo. La metodología para el estudio es analítica, Se llevaran a cabo los siguientes procedimientos: toma de datos del objeto arquitectónico y del lugar de estudio, procesamiento de los mismos con ayuda del software Ecotect, análisis de los datos procesados apoyados en los conceptos relacionados al comportamiento térmico de los elementos arquitectónicos y evaluación de la inserción de la edificación al medio natural considerando al clima como uno de sus elementos más importantes, verificando finalmente el grado de eficiencia de dicha inserción. El Palacio de Puruchuco se relaciona al medio natural en el que está inserto de forma coherente y sin agredirlo. Está ubicado en un lugar cuyo verano es caluroso pero logra una temperatura interna que está en confort. La edificación presenta pequeñas aberturas principalmente altas que no permiten ingreso solar directo pero si la salida del aire caliente. El material de tierra utilizado en los muros no permite su calentamiento en el día pero acumula calor para la noche.

## 1. INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como propósito analizar el comportamiento térmico del Palacio de Puruchuco que fue edificado entre los años 900 y 1450 d.C. y perteneció a la cultura Ychsma, sirviendo de residencia a la autoridad local más importante. Se ubica en el distrito de Ate, en la provincia de Lima, Perú, tiene una latitud de 12° 2' 1"LS, pertenece al trópico del sur, una longitud oeste de 76° 53' 1" y altitud de 436 msnm, presenta un clima templado, con alto valor de temperatura en verano y alto valor de humedad en el invierno.

Al estar ubicada en el trópico el recorrido del sol tiene una tendencia vertical, por este motivo el calentamiento es importante sobre superficies horizontales y menor sobre superficies verticales.

Se estudiará la forma como se adecuó el elemento arquitectónico como parte de un conjunto a las variables climáticas de Lima con el propósito de generar confort en el hábitat de aquella época pre hispánica, se estudiará por lo tanto la forma, la orientación de los elementos construidos, el tamaño y ubicación de las aberturas, el material de los muros, techos y pisos y la organización de diferentes elementos arquitectónicos que la conforman, se analizará el comportamiento térmico individual y del conjunto y su relación con el comportamiento del clima de Lima.

## **2. OBJETIVO PRINCIPAL**

El objetivo principal del estudio es realizar una evaluación del comportamiento térmico del Palacio de Puruchuco teniendo en cuenta su configuración y organización física y el impacto sobre él de los elementos del clima que forman parte del medio natural donde se ubica, para evaluar su respuesta y adecuación al mismo.

## **3. METODOLOGIA**

La metodología para el estudio es analítica. Se llevaran a cabo los siguientes procedimientos: toma de datos del objeto arquitectónico y del lugar de estudio, procesamiento de los mismos con ayuda del software Ecotect, análisis de los datos procesados apoyados en los conceptos relacionados al comportamiento térmico de los elementos arquitectónicos y evaluación de la inserción de la edificación al medio natural considerando al clima como uno de sus elementos más importantes, verificando finalmente el grado de eficiencia de dicha inserción.

## **4. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

### **4.1. Antecedentes históricos**

El palacio de Puruchuco fue edificado en las faldas de un cerro en el Intermedio Tardío (900-1450 d.C.), perteneció a la cultura Ychsma, cuyo principal centro ceremonial fue Pachacamac, donde se elevaba un templo en honor a la deidad del mismo nombre. En la arquitectura Ychsma se da el uso de las rampas, la tapia como material de construcción y el uso del barro en general y en la arquitectura Inca se usa el vano trapezoidal, la doble jamba y la cancha.

Siguió siendo utilizado en la época de los Incas, durante el Horizonte Tardío (1450-1532 d.C.) como parte de un complejo de edificios que comprende la cercana zona de Huaquerones. Se le atribuye un carácter administrativo menor, que fue cambiando de manos con la llegada de los Incas al valle de Lima y finalmente de los españoles. Allí se le nombra por primera vez en una escritura al adjudicársele como propiedad de Miguel de Estete, quien podría ser el mismo personaje que participa activamente de la captura de Atahualpa en Cajamarca. Con el paso de los años la casa fue cayendo en el olvido, y en 1583 el último curaca de Puruchuco alzó su voz de protesta ante los abusos de los encomenderos y terratenientes y fue abandonado hasta que el descubrimiento de una momia convocó a Julio C. Tello, Toribio Mejía Xespe y finalmente a Arturo Jiménez Borja. En las últimas décadas al descubrirse un importante cementerio precolombino cercano volvió a cobrar importancia y se han iniciado nuevas investigaciones.

### **4.2. Descripción física del Palacio**

El Palacio de Puruchuco está localizado en el valle del Rímac, Lima, Perú, rodeado en sus dos de sus flancos por montañas rocosas probablemente se confió su defensa a los poblados aledaños ya que la edificación no tiene atalayas u otro elemento arquitectónico que se utilice en la defensa del espacio interior (Wakeham, 1976) La planta es rectangular ortogonal, está limitada por una alta muralla con volúmenes fragmentados, tiene un solo acceso en rampa que permite llegar a una gran plaza cuadrada, (Burger, Morris, Matos Mendieta, 1997) luego sigue un laberinto de pasadizos estrechos a través de los cuales se accede a espacios que fluyen en secuencia de patios interiores, circulaciones horizontales y verticales por medio de plataformas, rampas y escaleras. El espacio está dividido en dos grandes mitades, la primera parte es abierta, pública y utilizada para eventos de gran número de concurrentes como ritos, funerales, intercambios de productos entre otros. La otra mitad está dividida en dos mitades y definen la zona privada de residencia y de lo doméstico (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2013).

Está orientado en su lado más largo al NO y SE, con un acceso principal por medio de una rampa hacia un pasadizo el cual te dirige hacia un callejón o hacia el ingreso principal que da hacia un gran patio interior.

Fue la residencia de un curaca pre inca probablemente, según Jiménez Borja (1988) los curacas adoptan casas cercadas que pueden corresponder a patrones de cultura Huari. Posteriormente probablemente se convirtió en un centro burocrático inca donde habitaba un funcionario que se encargaba de recoger los tributos. Una parte de este edificio estuvo dedicado a actividades religiosas, allí se ubican 6 nichos triangulares tallados en el muro, que probablemente fueran usados como marcas o hitos para mediciones astronómicas como por ejemplo del movimiento aparente del sol (M.A.S.) por medio de la ubicación de la sombras arrojadas de dichos vanos que les permitía conocer los equinoccios o los solsticios.

Está construido en materiales de tierra, la técnica empleada para levantar los muros es la del tapial o adobón de espesores mayores a 50 cm. Para construir la tapia utilizaron mantas de cañizos o estera a modo de encofrado según Jiménez Borja, dichas mantas de esteras de totora o caña se ataban con cañas unidas entre sí por cuerdas y para protegerlas del medio ambiente las mojaban con “aguacolla quizca”, le añadían lana o paja unida aparentemente al barro del medio ambiente, esta al secarse se resquebrajaba y se añadían nuevos revoques hasta que el acabado final se acepte. Asimismo utilizaron la piedra para algunos remates o para los peldaños de acceso únicamente, los techos reconstruidos son de madera, caña y torta de barro, las aberturas carecen de dintel.

Está organizado en 4 sectores:

Sector A, dedicado a las actividades públicas como ceremonias religiosas, allí el Curaca recibió los tributos de la población local y celebró con ellos la redistribución en reciprocidad, tal como era la costumbre en tiempos prehispánicos. Está formado por un amplio patio y una plataforma sobre la cual hay una estructura que vista desde el aire tiene forma de letra U.

Sector B, sirvió de habitación a los residentes permanentes de Puruchuco. Aquí se ubican la cocina y los demás cuartos para la vida diaria.

Sector C, donde se celebran las ceremonias religiosas, se accede a través de una rampa, al final de la cual se ubica un patio, a un lado de la rampa se ubican los 6 nichos triangulares tallados en el muro.

Sector D conformado por ambientes destinados a la preparación de productos perecibles para su posterior almacenamiento.

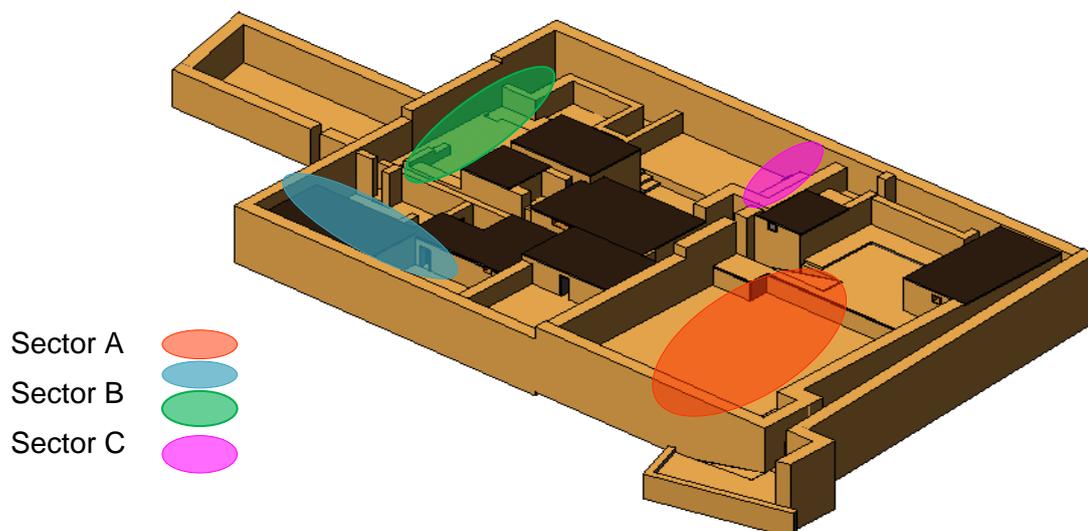


Figura 1. Vista en 3D de Puruchuco mostrando los sectores que lo conforman

### 4.3. Características del clima de Lima

La temperatura máxima en Lima se da a las 13:00 h con un valor de 23,79°C en promedio a lo largo del año y la mínima se presenta a las 6:00 h con un valor de 16,62°C en promedio a lo largo del año. Su temperatura tiene un comportamiento diverso, la temperatura máxima en enero, febrero y marzo por encima del confort, la temperatura mínima por debajo del confort de junio a noviembre en especial. Hay una diferencia en promedio entre el valor mayor del confort y la temperatura máxima de 3,18°C y de 4,26°C con la temperatura mínima. La temperatura presenta una oscilación entre la máxima y la mínima de 7,17°C en promedio.

La humedad se encuentra fuera del confort en los meses de junio a octubre.

En Lima la radiación sobre superficie horizontal es mucho mayor que la que incide sobre superficie vertical desde las 9:00 h hasta las 15:00 h, logrando 1.035 W/m<sup>2</sup> en el momento que el sol está vertical, en febrero. Las superficies verticales al NO con 116 W/m<sup>2</sup> en promedio, la NE con 104,5 W/m<sup>2</sup>, la SE con 103 W/m<sup>2</sup> y la SO con 104 W/m<sup>2</sup>.

El viento en Lima proviene desde el S o SO y su velocidad promedio es de 2,52 m/s.

La precipitación se da en especial en los meses de julio, agosto y setiembre que son las épocas frías.

Al analizar el confort interno de la edificación utilizando el ábaco psicométrico de Givoni, considerando una actividad sedentaria y un aislamiento por ropa para la estación, se evidencia que es importante la ventilación natural en verano, la ganancia de calor de día y el enfriamiento por evaporación directa.

### 4.4. Características térmicas de los materiales: Tapial

El tapial es un sistema constructivo de tierra, la técnica implica un encofrado que se desliza, tierra y un pisón para compactarla. Su composición es similar al adobe tiene aditivos como la paja, crin de caballo para estabilizarlo o piedras pequeñas para hacerlo más resistente y a la tierra se le puede añadir áridos para hacerla más maleable y agregarle cal para mejorar sus propiedades hidrófugas y mejorar su resistencia.

Los muros de tapial no necesitan tarrajearse, es suficiente con alisar la superficie cuando esta húmeda la pared.

El tapial igual que el adobe es capaz de acumular calor del sol durante el día y liberarlo durante la noche, permitiendo que la temperatura reduzca su oscilación. Su capacidad térmica igualmente dependerá de la densidad del material y del contenido de humedad que puede tener, puede así mismo la tierra que lo constituye provenir de suelos diferentes generando diferencias.

Su coeficiente de transmisión térmica varía entre 0,625 W/m×K y 0,70 W/m×K, es un material homogéneo y artesanal, por lo tanto los componentes de la materia sólida no tiene una dimensión fija, sin embargo este material se compacta y por lo tanto debe tener menos poros, si puede absorber humedad al igual que el adobe. Su densidad es de 1.600 kg/m<sup>3</sup> y su calor específico es de 920 J/kg×K.

### 4.5. Consumo energético del material en su producción

El desarrollo económico de las sociedades actuales está ligado al consumo energético, a las actividades de los sectores de la industria, servicios y transporte lo que origina un consumo energético notable que trae serios problemas e impactos ambientales, tanto en relación con el agotamiento del recurso como en la emisión de los GEI y sus efectos secundarios. La sociedad Inca al contrario no generaba tal consumo energético ya que la producción de los materiales utilizados no generaban un consumo alto de energía ni de contaminantes considerando primordialmente: el transporte de las materias primas, el proceso de dosificación e insumos de los materiales. Es el caso de la Tapia utilizado en Puruchuco, un material a base de tierra que producían in situ con técnicas ancestrales que hasta del día de

hoy se utilizan y el cual no necesita un proceso de transformación, lo que genera que se le considere como un material mucho más saludable que los materiales utilizados hoy en día como por ejemplo el hormigón, el cual genera muchísimos contaminantes en su producción. Además es importante mencionar el uso de códigos, símbolos y la conexión del material con la cosmovisión Incaica (La Pachamama “Madre Tierra”) que generó un lazo importante en la vida de dicha cultura.

El Palacio fue edificado utilizando únicamente el “material disponible en el lugar”, el que además presentaba excelentes cualidades para la edificación, pues estaba constituido por una mezcla de limo (tierra fina sedimentaria) y arcilla que conformaban sucesivas capas muy compactas y homogéneas, producto de numerosos fenómenos climáticos que antiguamente cubrieron la superficie de dicha localidad.

Finalmente se puede concluir que este sistema utilizado no generaba impactos ambientales importantes, es considerado un material eco amigable y además cumplía con las necesidades físicas, naturales, religiosas, simbólicas y sociales de la sociedad Prehispánica Inca.

## 5. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL PALACIO DE PURUCHUCO EN FUNCIÓN A LA FORMA, LA ORIENTACIÓN, CONFIGURACIÓN Y AL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN UTILIZADO

### 5.1. Impacto solar sobre muros, techos y pisos

Los elementos arquitectónicos se han organizado muy compactos, algunos a lo largo de pasajes de circulación muy estrechos y otros próximos a plazuelas pequeñas. La mayoría de las edificaciones están orientadas NE y NO.

Se ha evaluado el asoleamiento en conjunto a lo largo del año, en las etapas de invierno y media estación están asoleadas la mayor parte de edificaciones con orientaciones NE y NO, en la etapa de verano el asoleo es menor principalmente se asolean los techos no así los muros.

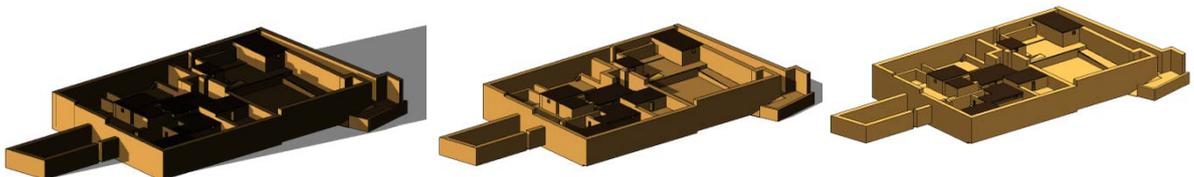


Figura 2. Asoleo a las 7:00, 9:00 y 12:00 horas en el conjunto arquitectónico

A las 7:00 y 17:00 horas el asoleamiento en el piso es muy poco, las sombras son largas, hay un mayor asoleo en los techos, pero con sol inclinado. A partir de las 9:00 h se empiezan a asolear los pisos y los techos de forma más eficiente, el impacto a partir de las 10:00 h hasta las 14:00 h es con un ángulo de 45° o mayor, calentando más las superficies horizontales que las verticales.

Por lo tanto en Puruchuco los techos y los pisos reciben fuerte impacto de sol vertical por lo menos 4 a 5 horas con sol vertical y el resto del día el impacto es menor debido a la inclinación del sol sin embargo la poca altura de las edificaciones generan igualmente sombras pequeñas sobre los pisos. Estas mismas edificaciones al estar distribuidas de forma muy compacta reciben poco impacto de sol sobre las paredes laterales.

### 5.2 Ingreso solar a las edificaciones

Las aberturas que permiten el ingreso de sol son muy pequeñas, la mayoría de 0,75 m por 0,75 m y carecen de dintel colocándose en la parte alta del muro.

Las aberturas orientadas al NO permiten el ingreso de sol en la tarde en invierno desde las 14:00 hasta las 17:00 horas, las aberturas al NE permiten el ingreso de sol en la mañana

durante el invierno y la media estación, las aberturas orientadas al SE permiten ingreso de sol durante verano en la mañana, sin embargo el área asoleada es muy pequeña no permite por lo tanto un incremento en el calentamiento interno de la edificación a partir de este aporte.

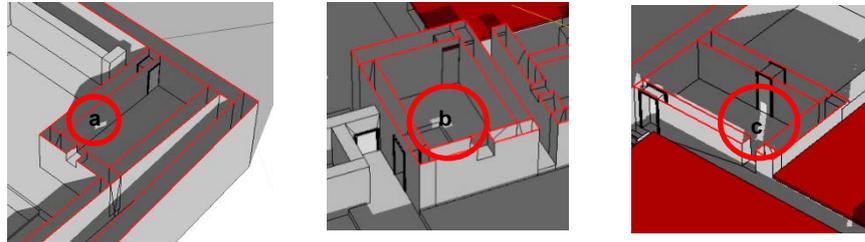


Figura 3. Ingreso solar por las aberturas orientadas de forma diversa.

- Chichería, ingreso sol por ventana orientada NO junio de 14:30 h a 17:00 h impacto piso, y pared
- Habitación del curaca, ingreso sol por ventana orientada NE junio de 7:30 a 10:15 horas
- Habitación interna, ingreso sol por ventana orientada al SE diciembre de 6:45 a 10:15 horas

### 5.3 Radiación en muros, pisos y techo

La radiación va variando con la orientación, la inclinación, la fecha y la hora de estudio. Se ha considerado dos valores de radiación, la radiación total esto es directa y difusa incidente en la parte externa del muro, techo o piso y la radiación absorbida y transmitida por los muros o techos en las que las características térmicas de los materiales de construcción que conforman las edificaciones son tomadas en cuenta.

#### • Radiación sobre el techo

Se calcula para el 11 de mayo a las 10:30 h una medición de la radiación utilizando el software Ecotect, la estación es otoño y el día se presentó asoleado. El techo es plano por lo tanto su orientación no tiene importancia, logra un valor de  $788,75 \text{ W/m}^2$ . Se calculó con Ecotect el resto del año y se encontró los siguientes resultados, promedio de radiación mensual recibida a lo largo del año  $3.970,75 \text{ W/m}^2$  y promedio de radiación diaria a lo largo del año  $420,72 \text{ W/m}^2$ .

#### • Radiación sobre los muros

En las superficies verticales la radiación variará en función a la orientación de cada una de ellas. Según el cálculo realizado con el Ecotect para el día 11 de mayo a las 10:30 h, se encontraron los siguientes valores: la pared orientada al NE es la que en la época de medición recibe la mayor radiación solar con un valor igual a  $446,33 \text{ W/m}^2$ , luego la orientación SE con un valor de  $184,7 \text{ W/m}^2$  y finalmente las orientaciones NO y SO con un valor de  $147,98 \text{ W/m}^2$ . Se calculó con Ecotect el resto del año y se encontraron los siguientes resultados, promedio de radiación mensual recibida a lo largo del año, en la pared NE,  $1.445,41 \text{ W/m}^2$ , pared NO  $1.353,34 \text{ W/m}^2$ , pared SE  $1.334,39 \text{ W/m}^2$  y pared SO  $1.337,79 \text{ W/m}^2$  y promedio de radiación diaria a lo largo del año, pared NE  $154,46 \text{ W/m}^2$ , pared NO  $141,75 \text{ W/m}^2$ , pared SE  $141,39 \text{ W/m}^2$  y pared SO  $141,87 \text{ W/m}^2$ .

Se calculó la radiación incidente absorbida y transmitida por los muros y techo y la radiación total incidente utilizando el software Ecotect para el día 11 de mayo a las 10:30 h según su orientación.

Los muros orientados al NE reciben una radiación incidente y transmitida de  $446,33 \text{ W/m}^2$  y una radiación total de  $449,91 \text{ W/m}^2$ , los muros orientados al NO reciben una radiación incidente y transmitida de  $147,98 \text{ W/m}^2$  y una radiación total de  $148,72 \text{ W/m}^2$ , los muros orientados al SE reciben una radiación incidente y transmitida de  $184,7 \text{ W/m}^2$  y una radiación total de  $158,93 \text{ W/m}^2$ , los techos reciben una radiación total de  $788,75 \text{ W/m}^2$ .

#### 5.4 Evaluación del impacto del viento sobre las edificaciones

Debido a la orientación de las edificaciones del Palacio el impacto directo del viento se da en la parte posterior del mismo, el cual está compuesto por un doble muro reduciendo su velocidad hacia los espacios subsiguientes, por lo tanto los espacios abiertos cercanos están protegidos generándose sombra de viento y reduciéndose igualmente su velocidad. En el caso del Patio principal el sector derecho tiene sombra de viento configurándose una zona en calma ideal para los meses invernales, sin embargo también se genera movimiento de vientos en dicho sector ya que existe sol y sombra y por lo tanto succión del aire frío por el aire caliente.

Por la organización del conjunto se van a generar algunos cambios en la dirección y la intensidad de los vientos ocasionando efectos de canal de viento en los estrechos pasajes de circulación del eje central del Palacio. Este efecto ayuda a generar una buena ventilación en el conjunto, en especial en el ambiente aledaño al corredor (la cocina) tanto en verano como en invierno. Existe además efectos de esquina que se generan en las diversas esquinas de los elementos arquitectónicos incrementándose su velocidad y cambiando de dirección desde el patio sagrado y disminuyendo la intensidad del impacto hacia el espacio del dormitorio del inca, el mismo que está protegido por un muro de 1,00 m de ancho y por los efectos de sombra de viento debido a muros altos que rodean el Palacio.

Al interior de las edificaciones las pequeñas aberturas permiten un desplazamiento del viento solo en la parte alta de la edificación y aparentemente sirven principalmente para el movimiento del aire (renovación de aire) además para generar el ingreso de luz (iluminación indirecta) y no para el ingreso directo de sol. Se puede concluir que aparentemente la orientación y organización espacial estuvo pensada también en función a las variables climáticas, en este caso a los vientos.

#### 5.5 Evaluación de la temperatura en función al comportamiento térmico del material utilizado.

Se calcularon los siguientes tipos de temperatura: la temperatura del ambiente interno, la temperatura del ambiente externo aledaño ambos por medición directa y en una fecha y hora específica, la temperatura de la cara interna y externa de los muros y la cara interna de techo y piso también por medición directa y en hora y fecha específica, la temperatura radiante interna a lo largo del día en una fecha específica utilizando el software Ecotect.

##### 5.5.1 Temperatura del ambiente interno y externo aledaño

Se realizan dos mediciones de la temperatura en el palacio de Puruchuco, a las 10:30 am, el día 11 de mayo, la estación es otoño y el día se presentó asoleado y a la misma hora, el día 14, la estación es otoño y el día se presentó sin sol. Se midieron los ambientes: La Chichería, la habitación del curaca y la habitación interna. Se utilizó un termómetro para medir temperatura interna y externa y termómetro láser para medir la temperatura de los muros, piso y techo. Se obtuvo los resultados que figuran en las tablas 1 y 2

Tabla 1. Temperatura del ambiente interior y exterior en fecha y hora específicas

Nombre de ambiente	Fecha de medición	Tipo de día	Orientación de la abertura	Orientación cara más larga	Temperatura externa (°C)	Temperatura interna (°C)
La Chichería	11 mayo	Asoleado	NO	NE	27,2	24,6
	14 mayo	Sin sol	NO	NE	21,7	23,9
Habitación Curaca	11 mayo	Asoleado	NE	NO	27,2	
	14 mayo	Sin sol	NE	NO	20,7	22,7
Habitación Interna	11 mayo	Asoleado	SE	NO	35,1	29,1
	14 mayo	Sin sol	SE	NO	21,2	22,4

En día soleado la temperatura interna es menor que la externa, el material (tapia) y el espesor del mismo reducen la transmisión del calor al interior. En día sin sol la temperatura interna tiene un valor mayor que la temperatura externa, el material tapia no permite la salida de calor y además conserva el calor del día anterior.

Tabla 2. Temperatura de los muros cara interna y cara externa según orientación, temperatura interna del techo y del piso. Fecha de medición 11 y 14 de mayo, 10:30 h y 10:40 h. Ambientes estudiados chichería, habitación del curaca, habitación interna.

Fecha	Estado	Temperatura Paredes (°C)								Temp techo plano	Temp piso interno
		Nor Oeste		Nor Este		Interior		Sur Oeste			
14 May	Nublado	Temp Int.	Tem. Ext.	Temp Int.	Tem. Ext.	Temp. Int.	Temp Ext.	Temp Int.	Temp Ext.	Temp Int.	Temp Int.
		21,4	19,6	21,3	20,2	20,7	20,4	20,97	20,3	20,9	21,1
Fecha	Estado	Temperatura Paredes (°C)								Temp. techo plano	Temp. piso interno
		Nor Oeste		Nor Este		Interior		Sur Oeste			
11 May	Con sol	Temp Int.	Tem Ext	Temp Int.	Tem. Ext	Temp Int.	Temp Ext	Temp Int.	Tem. Ext	Temp Int.	Temp Int.
		25,2	31,8	23,6	40,4	22,9	31,1	24,4	44,8	25,3	22,3

### 5.5.2 Cálculo de la temperatura radiante interna con muro de tapia

Se calculó la temperatura radiante interna utilizando el software Ecotect. Se indicó las características térmicas de los materiales para los muros, techo y piso

El muro de tapia presenta las siguientes características térmicas: coeficiente global de transmisión térmica  $0,73 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ , admitancia  $4,86 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ , transmitancia térmica  $2,16 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$  y retardo térmico  $8,95 \text{ h}$ . Su densidad es de  $1900 \text{ kg/m}^3$  y su calor específico es de  $920 \text{ J/kg} \times \text{K}$ .

El techo de barro en su conjunto presenta las siguientes características térmicas: coeficiente global de transmisión térmica  $1,31 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ , admitancia  $1,38 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ , absorción solar  $0.6$

El piso de tierra presenta las siguientes características térmicas: coeficiente global de transmisión térmica  $3,90 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ , admitancia  $4,57 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ . Su densidad es de  $1460 \text{ kg/m}^3$  y su calor específico es de  $880 \text{ J/kg} \times \text{K}$ .

#### • Temperatura radiante interna en la etapa fría

Se considera un ser humano con  $1 \text{ clo}^1$  de aislamiento térmico por la ropa, la humedad interna es de  $80\%$ , la velocidad del aire interna  $0,50 \text{ m/s}$ , se consideraron a los ocupantes con una actividad sedentaria con un valor de  $70 \text{ W}$ ,  $1,00$  cambios por hora, una ganancia sensible de  $5$  y latente de  $2$ .

Para el cálculo, se tomó en cuenta la etapa de menor temperatura en promedio. Se ha calculado la temperatura radiante interna considerando los materiales descritos anteriormente.

La temperatura exterior es estable la diferencia entre el valor mayor y el menor es de  $2,2^\circ\text{C}$ . La temperatura radiante interior es más estable, la diferencia es de  $0,6^\circ\text{C}$ .

La temperatura exterior tiene su valor menor a las  $6:00 \text{ h}$  con  $14,8^\circ\text{C}$ , su valor mayor se presenta a las  $13:00 \text{ h}$  con un valor igual a  $17^\circ\text{C}$ .

La temperatura radiante interior tiene su menor valor a las  $4:00$  con  $18,4^\circ\text{C}$  y su valor mayor a las  $13:00 \text{ h}$  con  $19^\circ\text{C}$ .

<sup>1</sup> clo es una unidad de medida empleada para el índice de indumento, que procede del inglés *cloth*, vestimenta. La unidad equivale a un aislamiento térmico de:  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$

La temperatura radiante interna está dentro del confort durante todo el día, la temperatura externa está ligeramente debajo del confort.

La tapia es eficiente conservando el calor que consigue en los momentos de mayor temperatura exterior.

- **Temperatura radiante interna en etapa calurosa**

Se considera un ser humano con 0,60 clo de aislamiento térmico, la humedad interna es de 60%, la velocidad del aire interna 1,0 m/s, se consideraron a los ocupantes con una actividad sedentaria con un valor de 70 W, 2,00 cambios por hora, una ganancia sensible de 5 y latente de 2.

Para el cálculo se tomó en cuenta, la etapa más calurosa en promedio. Se ha calculado la temperatura radiante interna considerando los materiales descritos anteriormente.

La temperatura exterior es menos estable la diferencia entre el valor mayor y el menor es de 6,6°C. La temperatura radiante interior es más estable, la diferencia es de 0,9°C.

La temperatura exterior tiene su valor menor a las 6:00 h con 22,4°C, su valor mayor se presenta a las 13:00 h con un valor igual a 29°C.

La temperatura radiante interior tiene su menor valor a las 4:00 h con 26,8°C y su valor mayor a las 13:00 h con 27,7°C.

La temperatura radiante interna está dentro del confort durante todo el día, la temperatura externa está dentro del confort excepto desde las 10:00 hasta las 15:00 h.

La tapia es eficiente conservando el calor que consigue en los momentos de mayor temperatura exterior y reduce el paso del calor en los momentos de mayor temperatura exterior.

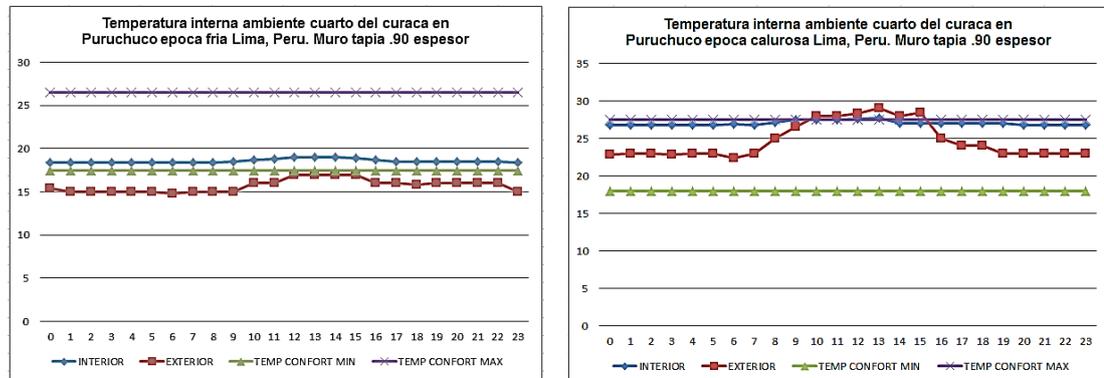


Figura 4. Cálculo de temperatura radiante interna en el Palacio de Puruchuco ambiente chichería en la etapa más fría y más calurosa.

## 5.6. Ganancia y pérdida de calor según los componentes considerados

Se hace una evaluación del balance térmico de la habitación del Curaca en función al material utilizado. Calcular la ganancia (verano) y pérdida (invierno) de calor de la vivienda según las condiciones de localización, materiales y aberturas asignadas.

- **Condiciones de cálculo**

Ubicación: 450 msnm. Se consideran las siguientes temperaturas: en verano temperatura máxima exterior 28,7°C, temperatura de diseño 20,2°C y en invierno temperatura mínima exterior 18,6°C y temperatura de diseño 13,8°C.

Borde perimetral: Sin aislamiento

Factor de infiltración: Normal (Perú poco hermético)

Habitado por: 2 personas

Ventilación en verano: > 1,800 m.s.n.m. = 2 C.A. / H  
< 1,800 m.s.n.m. = 4 C.A. / H

Muro tiene los siguientes materiales: muro de adobe de 0,60 m, recubrimiento exterior de tierra 0,025 m, recubrimiento interior de tierra 0,025 m, haciendo un espesor total de 0,70 m

El techo contara con una estructura de viguetas de caña brava de 4" x 4" espaciadas cada 0,40 m, tiene una capa de caña brava de ¾ a 1" de espesor y una capa de torta de barro de 0,05 m.

#### • Materiales a usar y sus valores

Tabla 3. Materiales, áreas y valores de resistencia total ( $R_{total}$ ) y coeficiente global de transmisión térmica (U)

Propiedades	Muro de tapial	Techo de caña y barro	Puertas	Ventana
$R_{total}$ ( $m^2 \times K/W$ )	1,78	8,87	0,45	0,16
U ( $W/m^2 \times K$ )	0,56	0,11	2,21	6,20
Área ( $m^2$ )	72,17	34,14	2,21	0,61

#### • Cálculo de la ganancia y pérdida de calor

Se calculó la ganancia y pérdida de calor y se obtuvo los siguientes resultados:

La ganancia en verano total fue de 524,89 W/h (notablemente baja)

La pérdida en invierno total fue de 779,74 W/h

La vivienda del curaca está dentro de los límites de confort ( $\pm 500$  W/h) teniendo sólo una pérdida 254,65 W/h

## 6. CONCLUSIONES

- En Puruchuco a lo largo del año, se estabiliza el comportamiento de la temperatura interna, teniendo en cuenta que en la zona externa la temperatura tiene cierto grado de inestabilidad, gana temperatura en las horas del mediodía y la tarde y las conserva cuando la temperatura baja durante la madrugada, por lo que se deduce que la tapia es eficiente para evitar la pérdida de calor.
- A lo largo del año la ganancia de calor durante el día no es considerable, en especial a las horas en la que la radiación sobre superficie horizontal o levemente inclinada es muy alta, por lo que se deduce que la tapia no es muy eficiente para permitir el ingreso de calor cuando la temperatura exterior es más alta lo que genera confort al interior de los ambientes.
- En la época del verano la temperatura radiante interna está dentro del confort durante todo el día, la temperatura externa está dentro del confort excepto desde las 10:00 hasta las 15:00 horas.
- En la época de invierno la temperatura radiante interna está dentro del confort durante todo el día, la temperatura externa está ligeramente debajo del confort.
- La forma ortogonal que tiene el complejo y la organización que tiene con edificaciones muy cercanas, genera una arquitectura compacta que no permite un mayor impacto de sol en diversos muros y pisos disminuyendo el calentamiento de las superficies y por ende reduciendo la temperatura en verano y generando confort, sin embargo sus techos si se asolean a lo largo del día durante todo el año pero el material del que están

constituidos no permite un calentamiento de los espacios internos (conformados por caña y tierra, es decir un tipo de quincha utilizado en esa época).

- Se puede concluir que aparentemente Puruchuco estaba pensado en función también a los vientos para generar canales de viento y diversos efectos como venturi o de esquina en los ambientes en lo que se necesitaba acelerarlos pero también sombras de viento o utilización de barreras de viento para aminorarlos, es decir había un control de los mismos a fin de generar confort.
- Al tener en los ambientes abiertos sol y sombra gracias a su orientación, organización espacial, altura y ancho de muros se genera movimiento de viento lo que es ideal para refrescar los ambientes en especial en las épocas de verano.
- Al analizar el sistema Constructivo de Puruchuco se pudo afirmar que el Sistema Utilizado no generaba impactos ambientales importantes (GEI) ya que el consumo de energía era casi nulo en su elaboración, lo que se considera hoy en día como un material Eco amigable.
- Al realizar los cálculos de ganancia y pérdida en las edificaciones de Puruchuco se encontró que estaba en confort con 254.65 w/h, siendo más eficiente en verano que en invierno en el que hay una ligera pérdida de calor pero siempre dentro de los límites de confort ( $\pm 500$  W/h) para dicho cálculo.
- Se puede concluir además que la arquitectura de Puruchuco se relacionaba con las variables climáticas del lugar, con las necesidades físicas, culturales, religiosas y sociales de la sociedad Prehispánica Inca.
- Se puede concluir que el Palacio de Puruchuco es un buen ejemplo de como la arquitectura ancestral Prehispánica es un ejemplo a seguir hasta el día de hoy.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burger, R.; Morris, C.; Matos Mendieta, R. (Eds.) (1997) Variations in the expression of Inka power. Disponible en <http://khipukamayuq.fas.harvard.edu/referenceDocs/UrtonBrezineInka.pdf>. Acceso en 01/03/2016

Jiménez Borja, A. (1988). Puruchuco. Disponible en: <http://www.comunidadandina.org/bda/docs/PE-OC-0015.pdf>. Acceso en 1/03/2016

Municipalidad de Lima (2013). Taller de arte y arqueología en la Huaca Puruchuco. Disponible en [http://www.limacultura.pe/sites/default/files/publicaciones/guia\\_para\\_docentes\\_huaca\\_puruchuco\\_0.pdf](http://www.limacultura.pe/sites/default/files/publicaciones/guia_para_docentes_huaca_puruchuco_0.pdf) Acceso en 1/03/2016.

Wakehan Dasso R. (1976). Puruchuco Investigación arquitectónica. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

## AUTORAS

María Angélica Guevara Lactayo, Arquitecta. Universidad Nacional de Ingeniería, Maestría en Ciencias especialidad Arquitectura en Universidad Nacional de Ingeniería, Docente del Área de Acondicionamiento Ambiental en la Facultad de Arquitectura, Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Expositora en TerraBrasil 2008, 2012 y 2014, SIACOT 2009 y 2015, Ekotectura 2014 y 2016, Directora del Proyecto.

Bellice Ego-Aguirre Bazán, Arquitecta Universidad Ricardo Palma. Maestría en Arquitectura Bioecológica y Tecnologías Aplicadas para el Ambiente, Universidad de los Estudios de Florencia-Italia. Docente Facultad de Arquitectura- Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú de los cursos Taller 9, y Acondicionamiento Ambiental II. Expositora en Ekotectura 2016 y conferencista en varios eventos nacionales e internacionales.