**Resumen:**

Toda obra de creación cultural está inmersa en un espacio físico acondicionado por el hombre para convertirlo en un espacio social. Por ello, cultura , arquitectura e ingeniería serán siempre conceptos inseparables, lo que conlleva que, al profundizar en el origen de la Arquitectura e Ingeniería Andina se encontraran simultáneamente el génesis de su cultura.

En la presente exposición se trata de introducir algunos aspectos principales de la ingeniería Civil de los Incas, en la que se muestran configuraciones geométricas que ponen de manifiesto que en la cultura Inca se conocía las matemáticas y las ciencias naturales. Asi, en el mundo andino, 2000 años A.C hay evidencias de un Sistema Geométrico Proporcional de medidas, cuyo factor de cambio o variación fue la relación matemática “PI”, sintetizada en la fórmula geométrica de la Cruz cuadrada que se originó en el antiguo culto a la constelación de la cruz del Sur, cuya existencia ha sido verificada al descubrirse el Geoglifo Estelar de Las Salinas de Chao, en la costa norte del Perú., su fotografía aérea vertical permitió el hallazgo del geoglifo y posteriormente el análisis geométrico y astronómico del mismo, la constelación de la Cruz del Sur es un ente y un concepto astronómico ligado a la problemática del control de las estaciones, su forma de cruz es puramente casual y la longitud de sus brazos menor y mayor están en la misma relación que el lado de un cuadrado y su diagonal. Esta constelación, que con su eje mayor señala al polo sur, es rectora del hemisferio austral, al igual como sucede con la estrella polar en el hemisferio boreal:

**Figura geométrica**

utilizada como símbolo “ORDENADOR” de los conceptos matemáticos religiosos en el mundo andino, su presencia es continua en los recintos sagrados, en los objetos rituales y en los telares como en el manto de paracas o del Inca. Su forma se origina de un desarrollo geométrico, que toma como punto de partida a un cuadrado unitario que, al crecer por diagonales sucesivas permite determinar con bastante exactitud el valor de “PI” y conformar un sistema. En las culturas Mochica y Chavin se muestran un gran derroche de figuras geométricas, de la misma manera en las edificaciones que se encuentran en la ciudad del Cusco, en especial en las Fortalezas de Sacsayhuamán, Ollaytambo, Pïsac y en la ciudadela de Machupicchu. Otra de las obras geniales donde se hace evidente el conocimiento de las matemáticas y las ciencias naturales son las ruinas de Tipón en Cusco, siendo ésta todo un complejo hidráulico de captación y abastecimiento de agua, en muchas de las edificaciones Pre- incas e Incas se muestran pórticos y muros perfectamente alineados, así como dinteles rectangulares apoyados en columnas circulares como se muestra en el complejo de Chavín. En las cercanías del cusco la tecnología de los puentes está viviente es el caso del puente colgante qeswachaca de 25 m de luz, símbolo de historia viva. El tema que se expone es bastante amplio y complejo aquí se trata de presentar como se ha indicado algunos aspectos de la Ingeniería de los Incas donde se aprecia u alta tecnología constructiva que hoy asombra al mundo.

**Introducción**

El hombre ha tenido y tiene como una herramienta poderosa: la Observación. Su oficio de observar lo guió pronto a encontrar la relación entre ambos brazos de la cruz del sur: Si el lado de un cuadrado era el brazo menor, el mayor salía siendo la diagonal exacta. Así encontró el cuadrado y su diagonal, considerándola a ésta como proporción andina sagrada, la raíz cuadrada de dos resultó siendo la raíz cultural de un pueblo y la base formal de su religión. En otro tiempo y en el ámbito espacial de otro hemisferio, escribiría Platón mas tarde en los diálogos de Timeo: que el uso del cuadrado y su diagonal era el conocimiento que probaba que el hombre era digno de tal nombre.

Los científicos del mundo andino, para optimizar la producción agrícola tuvieron que desarrollar tecnologías astronómicas para la observación de los fenómenos celestes y para el uso, manejo y conservación de los datos. Pero su principal aporte fue el organizar científicamente su sociedad en vista de que los excedentes de producción se empleaban exclusivamente para el bienestar de la comunidad.

Desde el punto de vista de la tecnología constructiva, los incas aprovecharon los conocimientos de otras culturas como de los collas la destreza para el trabajo en piedra, de los waris la técnica de las terrazas agrícolas (andenes), de los mochicas y chimúes la metalurgia del bronce.

En la arquitectura inca pueden distinguirse dos variedades de construcción. En la primera las piedras en bloques ciclópeos, tienen su cara exterior sin desbastar, pero las caras en que se apoyan están colocadas con tal perfección que, a pesar de la forma poligonal irregular de los bloques, se aplican tan íntimamente unas a otras. La segunda variedad de construcción nos es sino una perfección de la primera, las piedras sean grandes o pequeñas, sus caras son talladas que resultan casi paralelepípedos regulares con una gran perfección en las juntas. Los palacios y templos responden a este tipo de construcción, para dar más cohesión a los muros en ciertos casos las piedras llevan verdaderas entalladuras que encajan unas en otras; los vanos, nichos y puertas figuradas, igual que el corte mismo de los muros tienen una forma ligeramente trapezoidal; los dinteles son monolíticos rectangulares, éstas configuraciones demuestran el conocimiento de la geometría.

Los muros de los templos admirablemente aparejados, hoy desnudos estaban recubiertos de un fino enlucido de barro o revestidos de cinturones y ornamentos de oro, en el templo de Wiracocha en San Pedro de Racchi, Cusco, aún puede verse en el lienzo central frente a las columnas circulares, restos de un fino revoque de barro, que hoy se confunde con la pared misma, al observarse con cuidado se descubre una serie de grandes triángulos escalonados invertidos , nuevamente aquí se presentan nuevas figuras geométricas como el triángulo y la columna circular.

**Construcciones incas.**

Los edificios públicos en especial los del cusco y de épocas posteriores eran desde luego construcciones muy superiores con excelente mampostería de piedra y muy restringido empleo del adobe, sin embargo aún los mejores edificios solían techarse con paja. Todas las poblaciones incas tenían su templo y sus sacerdotes, siendo el Coricancha el gran centro ceremonial incaico y estaba en la plaza principal del cusco.

Aunque hubo diversas formas de centros poblados en el imperio inca todos parecen haber tenido algunas características comunes, construcciones sobre una elevación con un elemento de refugio, todas las ciudades de cierta jerarquía tenían plazas, templos, colcas o depósitos y mercados para el trueque. Además en muchas de ellas se edificaron palacios para el inca y su séquito. Los palacios como el de Atahuallpa en Cajamarca estaban en las afueras de la ciudad.

Se sabe muy poco respecto a los instrumentos de ingeniería, es seguro que se conocía y se utilizaba la plomada también instrumentos para determinar niveles y medir ángulos y distancias.

Hace algún tiempo se creía que la mampostería megalítica a base de enormes piedras de forma y tamaño irregulares pertenecía a los pre-incas del periodo Tiahuanaco, mientras que la mampostería de bloques de piedra uniformes en tamaño colocadas en hileras regulares era típico del periodo inca. Sin embargo, en la actualidad se supone que los incas utlizaban ambos tipos de construcción y que casi todos los grandes edificios y estructuras de mampostería en la región del Cusco, incluyendo Sacsayhuamán, Ollantaytambo, Machu Picchu y el Cusco mismo pertenecen al último periodo inca.

El gran volumen de las obras construidas en todo el imperio desde el siglo XIV hasta la llegada de los españoles, fue posible solo mediante el esfuerzo organizado de grandes grupos de obreros trabajando en cumplimiento de un peculiar sistema de tributación al imperio. Gracias a la mita se construyeron la mayoría de caminos, canales, tambos y, por su puesto los palacios y templos de las principales ciudades del imperio inca. La piedra labrada en bloques y admirablemente pulidos fue el carácter de esa arquitectura que Alexander Von Humboldt sintetizó con las palabras: “sencillez, simetría y solidez”.

La piedra que utilizaban en las construcciones era extraída de las canteras y era movida mediante rodillos de madera planos, inclinados y palancas, los instrumentos que tenían para cortar la piedra y labrarlas eran guijarros negros y duros seleccionados de los rios, usaron también el diamante azul colocado en un mango de chonta para pulimentar las piedras, posteriormente era labrada con martillos y achas de piedra y sinceles de bronce. En última instancia era pulida con agua y arena, los instrumentos de medida eran también simples y consistían en dos reglas superpuestas en las que han introducido ciertas escalas.

**Técnicas de Construcción**

Para comprender las técnicas de construcción empleada se hace necesario examinar tres puntos: 1. las técnicas para extraer la piedra de la cantera; 2. su transporte; 3. su enlazamiento en el sitio.En todas estas operaciones debe tenerse en cuenta las limitaciones físicas del equipo disponible. Es poco probable el uso de instrumentos de metal. No se disponía de animales de carga, sólo el hombre realizaba esta tarea. En lo que respecta al transporte se ha hecho uso de troncos de Aliso( Agnus jorullensis: sauco o quishuar) de 9m de largo y 15 cm de diámetro, árbol que crece en las márgenes de los ríos y arroyos, los eucaliptos que hoy se ven en la zona no son nativos fueron introducidos en el siglo XVII. Las grandes lajas de forma casi rectangular eran cortadas en piezas más pequeñas por un procedimiento que consistía en golpear la piedra hasta formar una ranura continua en forma de V, que corría paralela a su clivaje. En algunos casos en esta ranura había cavidades o entalladuras en forma de cuña, de casi 8 cm de largo y 2 cm de profundidad, estas cavidades pueden haber sido hechas para colocar cuñas de piedra que ayudaran a partir la roca y forzarla a abrirse a lo largo de las ranuras marcadas, es probable también que las cavidades más grandes hubiera servido para que el agua se colocara de manera tal que, en las noches frías al producirse su congelamiento causara el ensanchamiento y ampliación de las rajaduras y pudiera ser rápidamente partida.

**Césped (sod)**

El césped o pasto (incluyendo la tierra entrapada entre las raices) se corta en bloques para utilizarlo como material de construcción. El pasto debe de tener las raices fuertes y bien enredadas y la construcción debe de terminarse antes de que se seque el pasto. Tradicionalmente este material se utilizó en los pastizales en el norte de Europa y en el centro de los Estados Unidos, donde había mucho pasto y pocos otros materiales. Los bloques de césped se instalan en lineas como si fueran ladrillos, aplicando presión con un palo pesado. Generalmente el interior se cubre con un acabado de cal o yeso para mantenerlo limpio y darle una vista más clara y alegre. Casas de césped tienen la ventaja de ser muy económicas y bien aisladas, así que se mantienen frescas en tiempo de calor y calientes en tiempo de frío. La desventaja principal es que suelen ser húmedas y se descomponen rápidamente sin mantenimiento. Actualmente puedes ver construcciones de césped en las zonas rurales de Suecia y los techos verdes que son populares en todo el mundo son una variación de esta idea.

**Pacas de paja (strawbale)**

La construcción con pacas de paja consiste en amontonar filas de pacas sobre un cimiento levantado, con una barrera entre el cimiento y las pacas. Las paredes se pueden conectar con estacas de bambú, varilla o madera, o con malla que después se cubre con una mezcla de cemento, cal, yeso o barro. Este método también se puede utilizar como aislamiento para una construcción de madera.

**Tapial / Tierra prensada (rammed earth)**

Muy común en España y el norte de África, el tapial es una técnica para hacer construcciones muy fuertes que resisten el paso del tiempo. Primero se prepara un molde de madera u otro material para abarcar la forma de la pared. Después se hace una mezcla húmeda de arena, grava y barro (a veces con un estabilizador) y se rellena el molde con esta mezcla, golpeándola con un palo grueso (de ahí viene el nombre "tierra prensada"). En los tiempos antiguos, se utilizaba cómunmente la sangre animal o la cal como estabilizador; hoy el cemento es más común. Una vez que esté bien comprimida, se quita el molde para que la pared se seque bien, y luego se instala el molde en el siguiente nivel para repetir el mismo proceso. Una vez que esté terminada, la construcción puede tardar hasta dos años para curarse completamente y entre más pase el tiempo, más se cura y más resistente se hace el edificio.

**Adobe**

El adobe y cob son dos aplicaciones diferentes de la misma mezcla de arena, barro y fibra natural (aunque los dos términos se intercambian comúnmente). La fibra puede ser cualquier material orgánico seco como paja, tule seco, boñigas o salvadillo de trigo o arroz. Cuando esta mezcla se aplica de manera libre con las manos se conoce como cob y cuando se utiliza en forma de ladrillos se llama adobe. Los ladrillos de adobe pueden ser tan chicos como un ladrillo normal o pueden tener hasta dos metros de largo. Las construcciones hechas de ladrillo chico no tienen ningúna ventaja sobre las de material moderno, pero las viviendas construidas con los ladrillos grandes suelen ser muy bien aisladas, calientes en tiempos fríos y frescos en tiempos cálidos. Esta técnica es muy apta para lugares secos y cálidos donde hay muy poco riesgo de sismos.

**La Ingeniería vial e hidráulica:**

la construcción y el mantenimiento de las obras viales, hidráulicas y de edificación forman un conjunto de procesos tecnológicos pragmáticos que se identifican con la personalidad de los incas para someter la naturaleza y ponerla a su servicio. Los materiales constructivos fueron el barro, piedra , madera y fibras vegetales, los incas no conocían el ladrillo no quemaron la arcilla a pesar de que sí lo hicieron para obtener cerámica.

La red vial inca es notable, sólo la admirable red vial romana está en la misma categoría, ella integró el imperio y sirvió tanto para la administración y transmisión de información como para la circulación de personas y animales en tiempo de paz y de guerra, ambos construyeron caminos hasta los confines de los dominios conquistados. La diferencia está en que los incas, al no poseer vehículos de ruedas no necesitaban pavimentos tan buenos ni caminos tan anchos, ni puentes tan resistentes; usaron escalones en los tramos de pendiente fuerte, los caminos empedrados o no, fueron un elemento importante de la cultura andina desde los tiempos más antiguos. La red vial era un sistema que comprendía infraestructura – caminos, puentes y tambos; depósitos ubicados a distancias compatibles con el recorrido diario, los servicios, y los suministros, la longitud total del sistema vial ha sido estimada en 20 000 kilómetros estaba compuesto por dos grandes caminos longitudinales norte-sur, uno costero y otro andino.

El costero iba desde Quito en el norte hasta el río Maule, unos cien kilómetros al sur de lo que es hoy santiago de Chile y hasta Mendoza en la Argentina, por el lado este. Además existían vías de unión de los caminos longitudinales que recorrían de este a oeste las laderas de los valles costeros, como es obvio el camino reclama puentes. Sin caminos habría sido casi imposible conquistar regiones tan distantes de la ciudad del Cusco, ni administradas después de su conquista.

Los caminos incas causaron gran admiración a los españoles, como se ha indicado había dos caminos principales de norte a sur, uno a lo largo de la costa y otro que atravesaba las tierras altas, estos dos calzadas estaban cruzadas por caminos transversales, mientras que otros caminos de menor importancia conducían a todas las aldeas del imperio, caminos conocidos como Ccapan Ñan.

El más importante avance tecnológico de los antiguos peruanos fue probablemente el perfeccionamiento de la agricultura, ella implicó el mejoramiento de la tecnología del agua, la irrigación y la tecnología agrícola, en los andes se perfeccionó y desarrolló un conjunto tecnológico muy sofisticado de terrazas artificiales, llamadas andenes o andenería, que permitió utilizar la parte fértil de los andes.