



UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS
José Martí Pérez



Facultad de Ciencias
Técnicas y Económicas

DEPARTAMENTO INGENIERIA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

**Evaluación de características tecnológicas críticas de calidad para la
fabricación de ladrillos altamente aislantes en Cuba.**

**Evaluation of technological critical characteristics of quality for highly
brickmaking in Cuba insulating.**

Autora: Sarileydi Valero Hernández

Tutora: Ing. Eilyn Panal Leiva

Sancti Spíritus

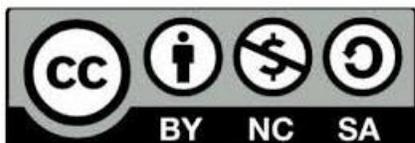
2022

Copyright©UNISS

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, y se encuentra depositado en los fondos del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación “Raúl Ferrer Pérez”, subordinado a la Dirección General de Desarrollo 3 de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información, contacte con:

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación “Raúl Ferrer Pérez”.
Comandante Manuel Fajardo s/n, esquina a Cuartel, Olivos 1. Sancti Spíritus. Cuba.
CP. 60100

Teléfono: **41-334968**

Pensamiento



“La calidad no se da por casualidad, debe ser planificada”.

Joseph Juran

Dedicatoria

 *A ti, insuperable, preciosa y amorosa madre, por darme tú
cariño, paciencia, apoyo, consejos, y por sobre todo valor para
seguir adelante. Que nunca me vayas a faltar...*

 *A mi hijo Marcos Eriel quien ha sido mi mayor motivación para
nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo
para él.*

 *A Yadira, Luisa y a Ayanni por cuidar siempre de mí.*

Agradecimientos

 *A mi familia por su amor, por estar a mi lado en mis triunfos y mis derrotas, por saber aguantarme en mis días buenos y malos, porque son lo más importante que tengo.*

 *A mi tutora y amiga Eilyn por su profesionalidad, por tener todo el tiempo disponible para atenderme, por su paciencia y dedicación con su frase ... "siempre hay que pensar en positivo"*

 *A mis compañeros de trabajo y mis clientas por su apoyo y comprensión.*

 *A mis Amigas y Amigos... y en especial a Mairelis, Eliany, Arlet, Jose, Dainier y Yuri, ya que han estado cuando más lo he necesitado durante toda mi carrera.*

 *A mis profesores por ayudarme y confiar en mí.*

Resumen

El novedoso modelo constructivo global de edificaciones de bajo consumo de energía precisa de la utilización de materiales de construcción para muros térmicamente mejorados. Ante este desafío, una efectiva planificación de la calidad garantiza a la industria un estándar más competitivo ante las exigencias actuales del mercado, capaz de asumir el cumplimiento de los requisitos de conformidad del producto. Al respecto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar las características tecnológicas críticas de calidad en el proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes en el escenario cubano. La propuesta de procedimiento utiliza herramientas del enfoque de calidad desde el diseño, elementos del QFD y el PDM para, a partir del juicio emitido por los expertos, establecer las relaciones entre características tecnológicas críticas por etapas, para el desarrollo de un material de construcción de un estándar de calidad superior en el sector ladrillero nacional. Como resultado se obtuvo de las variables de entrada, parámetros de proceso y variables de salida, clasificadas, la prioridad por grupos en función de los requerimientos de aislación térmica. Se facilitó de esta forma un esquema de control más flexible para el diseño de la estrategia operativa de calidad útil a la industria cubana para asumir el nuevo enfoque de construcción de viviendas energéticamente eficientes.

Palabras claves: calidad desde el diseño; proceso industrial, ladrillo; planificación de la calidad

Abstract

I consume the innovative constructive global model of edifications of bass of precise energy of the utilization of construction materials for walls thermicly improved. In front of this challenge, a most competitive standard in front of the present-day requirements of the market guarantees an effective planning of quality to the industry, capable to assume the fulfillment of the requirements of conformity of the product. With regard to this matter, present it investigation aims at evaluating the technological critical characteristics of quality in the manufacturing process of insulating bricks on the set Cuban. The proposal of procedure utilizes tools of the focus of quality from the design, the QFD's elements and the PDM stops, as from the judgment emitted by the experts, establishing the relations between technological critical characteristics in stages, for the development of a building material of a standard of superior quality at the brickmaking national sector. As a result it was obtained of the entrance variables, parameters of process and variables of exit, classified, the priority for groups in terms of the requests of thermic aislation. The Cuban to assume the new efficient focus of energetically residential construction made easy to the industry a scheme of more flexible control for the design of the operating strategy of useful quality in this way.

Key words: Quality from the design; I process industrial, brick; Planning of quality

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1: Marco Teórico Referencial	5
1.1. Panorama global industrial en el actual contexto de sostenibilidad energética.....	5
1.1.1. El reto de las industrias de materiales de la construcción.....	8
1.1.2. Tecnologías apropiadas para materiales de muro.....	9
1.2. Sector ladrillero: evolución tecnológica hacia características del tipo energético eficientes.....	11
1.2.1. Particularidades de la industria en el escenario constructivo cubano.....	13
1.3. El mejoramiento de la calidad en los procesos industriales	13
1.3.1. Los enfoques de calidad como estrategia para la gestión empresarial.....	15
1.4. La calidad desde el diseño como estrategia para la planificación operativa en la industria.....	18
1.5. Herramientas para el ordenamiento y clasificación de requisitos en procesos industriales.....	19
1.6. Conclusiones parciales.....	23
Capítulo 2: Etapas para la evaluación de características tecnológicas críticas de calidad en el proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes.....	24
2.1. Premisas para el establecimiento de una concepción de calidad desde el diseño.....	25
2.2. Descripción de las etapas para la evaluación de características tecnológicas críticas de calidad.....	25
2.2.1. Etapa Previa	26
2.2.2. Etapa I: Definición del contexto operacional.....	27
2.2.3. Etapa II: Análisis de los factores críticos claves por etapas del proceso.....	

2.2.4.	Etapa III: Evaluación de la criticidad.....	31
2.3.	Conclusiones parciales.....	34
Capítulo 3: Evaluación de características críticas de calidad del proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes para el escenario cubano.		35
3.1	Descripción de las etapas de trabajo propuestas para la evaluación de las características tecnológicas.	35
3.1.1	Etapa Previa	35
3.1.2	Etapa I: Definición del contexto operacional.	36
3.1.3	Etapa II: Análisis de los factores claves por etapas del proceso.....	38
3.1.4	Etapa III: Evaluación de la criticidad.....	47
3.2	Conclusiones parciales	52
Conclusiones generales.....		53
Recomendaciones.....		54
Bibliografía.....		55
Anexos		61

Introducción

La apuesta por un desarrollo sostenible deviene un reto global que impacta significativamente en el cumplimiento de la Agenda 2030. La actividad constructiva y las edificaciones juegan un papel crucial en la concreción de tales objetivos (CEPAL, 2021); desde una perspectiva económica y energética, el sector de la edificación califica dentro de los sectores de mayor consumo (Bravo Amarante et al., 2014), lo que supone impactos ambientales muy significativos.

Al respecto (Hernández et al., 2019) describe el fenómeno como “descarbonización de la economía”; refiere el cambio de tecnologías y técnicas de construcción adaptadas a las necesidades ambientales, económicas y sociales como la propuesta para solventar o reducir los problemas energéticos. Se necesitan novedosos modelos constructivos para poder hacer frente a los nuevos requisitos de mínimo consumo y consumo sostenible, al mismo tiempo que se realiza la transición a un sistema energético descarbonizado (Barreras Ferrán, 2022).

Ante este escenario, Quimbay Herrera (2020) asegura que el verdadero desafío lo asumen las industrias de materiales de construcción, con la investigación de estrategias transformadoras hacia la eficiencia energética del edificio que respondan de forma eficiente a los requisitos de calidad y sostenibilidad en un medio natural habitable y de confort. Las principales innovaciones en este sector están enmarcadas en el desarrollo de materiales más eficientes, la economía circular y mejora de los procesos constructivos para satisfacer los nuevos requisitos energéticos.

En el contexto cubano, tales aspectos resultan de interés en el perfeccionamiento de la gestión empresarial. En alusión a las inversiones, el crecimiento de programas estratégicos como la vivienda y el turismo, demandan del desarrollo e innovación de materiales que propicien una relación directa con la solución climática o la vida de los espacios construidos Figueredo Reynaldo, (2017).

Introducir la idea de la calidad en la industria de ladrillera no debe ser valorada como la cualidad que hace un producto simplemente «aceptable», o pensar que consiste en no tener un rechazo mayor que un cierto porcentaje en una línea de producción; de acuerdo con (Juran, 1999), se precisa considerarla desde la perspectiva del cliente. Por ende, construir edificaciones de energía cero en el contexto cubano, precisa de un

material de muro adecuado para condiciones climáticas cálido-húmedas que evite el impacto de los altos índices de irradiación solar al interior de las edificaciones por medio de un coeficiente de transferencia de calor mínimo, lo cual supone una alta capacidad aislante.

En este sentido, (Rueda Guzmán, 2004) plantea que la industria cubana carece de estrategias para obtener propiedades termoeficientes superiores que permitan reducir consumo y generar energía en edificaciones. En opinión de esta autora, es necesario generalizar las tecnologías necesarias para aspirar a niveles de calidad superior.

Sobre el tema (Díaz Canel et al., 2021) enfatiza que un desarrollo superior conduce a altos estándares de calidad, significa que la economía es dinámica, innovadora y competitiva con una reforma institucional sobre la base de crear nuevos productos y servicios de mejor calidad, crear y aplicar nuevas tecnologías, nuevos materiales, procesos y productos, así como mejorar la productividad de los factores de producción y la eficiencia de la asignación de recursos. No obstante, la determinación de enfrentar el proceso de mejoramiento requiere de un análisis de las condiciones de operación en la industria, siendo determinante la identificación de las características tecnológicas que resultan críticas para obtener un producto de que satisfaga las necesidades actuales.

Coherente con las nuevas prácticas, estudios en el ámbito nacional sobre este producto han estado relacionados con mejorar su perfil ecológico (Martirena et al., 2003, 2011, 2014) así como el uso eficiente de la energía y la utilización de las fuentes renovables durante los procesos de fabricación (Machado et al., 2011); (Pacheco Paladini et al., 2021). Sin embargo, los análisis de las propiedades térmicas son aislados, sin una tendencia hacia su generalización a la industria, donde no se evalúan parámetros termoeficientes como requisito. Solo se produce una geometría simple de ladrillo desaprovechando el potencial de calidad superior que aportan diversas dimensiones. Persisten prácticas artesanales de producción ineficientes energéticamente que no responden a los requisitos de un adecuado aislamiento térmico para la construcción de edificios de bajo consumo, condiciones que describen la **situación problemática** a resolver en el contexto de esta investigación.

Los argumentos antes mencionados señalan como **problema de investigación** que: las prácticas actuales de la industria ladrillera cubana limitan la aptitud del proceso para

satisfacer requisitos de calidad establecidos en la construcción de edificaciones de bajo consumo de energía, por lo que se impone definir las características tecnológicas que inciden de forma crítica en su desempeño operacional.

Para dar solución al problema planteado, el **objetivo general** propuesto es: evaluar las características tecnológicas críticas de calidad en el proceso de fabricación de ladrillos para la construcción de edificaciones de bajo consumo de energía.

Como **objetivos específicos** se plantean:

1. Construir el marco teórico referencial como resultado del estudio de los enfoques actuales de la ingeniería, la gestión de calidad y aplicaciones referentes al tema objeto de estudio.
2. Proponer un procedimiento para la evaluación de características tecnológicas críticas de calidad a partir del análisis de relaciones entre las etapas claves del proceso.
3. Aplicar el procedimiento propuesto para evaluar las características tecnológicas críticas de calidad del proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes en el escenario cubano.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron métodos teóricos como el análisis - síntesis e inducción – deducción, además de métodos empíricos y estadísticos para la recopilación, análisis de relaciones y generalizaciones de la información referente al proceso objeto de estudio. La obtención de requerimientos tecnológicos se fundamentó en la concepción cliente- proveedor con el uso de elementos del Despliegue de la Función Calidad, análisis de clúster y del Paradigma Decisional Multicriterio.

La estructura del trabajo está sustentada en la elaboración de tres capítulos: 1) el marco teórico conceptual con la revisión de las principales tendencias relativas a la gestión de la calidad en procesos de manufactura, herramientas de diseño y tecnologías actuales de la industria ladrillera 2) las etapas utilizadas para conducir la investigación y 3) la evaluación de las características críticas de calidad identificadas en las condiciones del escenario cubano. Se exponen las conclusiones generales y se realizan recomendaciones para viabilizar el estudio, así como la bibliografía consultada.

Como resultados más relevantes está la identificación de las características críticas para la calidad (variables de entrada, parámetros de proceso y variables de salida) en las etapas de

secado y cocción del proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes; las prioridades por grupo de variables definieron la criticidad.

Capítulo 1: Marco Teórico Referencial

El presente capítulo muestra una revisión sistemática de los principales referentes teóricos y conceptuales para la fundamentación de la investigación. Como estrategia para la elaboración del marco teórico y referencial se utilizó un hilo conductor (Figura 1.1) donde se analizan aspectos de la gestión de la calidad en procesos industriales, herramientas de planificación y diseño, innovaciones para la eficiencia energética en el sector constructivo, así como tecnologías actuales de la industria ladrillera entre otras temáticas de interés utilizados en el marco del estudio.



Figura

1.1. Hilo conductor de la investigación. Fuente: Elaboración propia de la autora.

1.1. Panorama global industrial en el actual contexto de sostenibilidad energética.

La apuesta por un desarrollo sostenible deviene un reto global que impacta significativamente en el cumplimiento de la Agenda 2030. La actividad constructiva y las

edificaciones juegan un papel crucial en la concreción de tales objetivos (CEPAL, 2014).

Desde una perspectiva económica y energética, (Rabello & Ribeiro, 2021) asumen que los edificios califican dentro de los estratos de mayor consumo. Con la dinámica actual de crecimiento demográfico y el aumento de las necesidades de recursos energéticos, el consumo de energía en la construcción es un motivo de preocupación; autores como (Brambilla et al., 2018) y (Ahmadi et al., 2020) aseguran que son variadas y en extremo alarmantes los tipos de consecuencias ambientales.

Otro factor importante a considerar ha sido la meta impuesta por los países desarrollados de disminuir las emisiones de CO₂ y la búsqueda de alternativas energéticas debido al agotamiento de recursos como el petróleo, gas y carbón. Hacia 1973, aproximadamente el 76% del consumo total correspondía a petróleo y derivados de petróleo, gas natural y carbón mineral, mientras que en el 2018 hay una reducción porcentual alcanzando el 67% y registrándose un incremento en el consumo de electricidad en 10 puntos porcentuales (Organización Latinoamericana de Energía, 2020).

A tales efectos, la matriz de consumo energético global se ha diversificado significativamente (Figura 1.2), su composición estructural cambió con la inclusión de fuentes de energía más limpias.

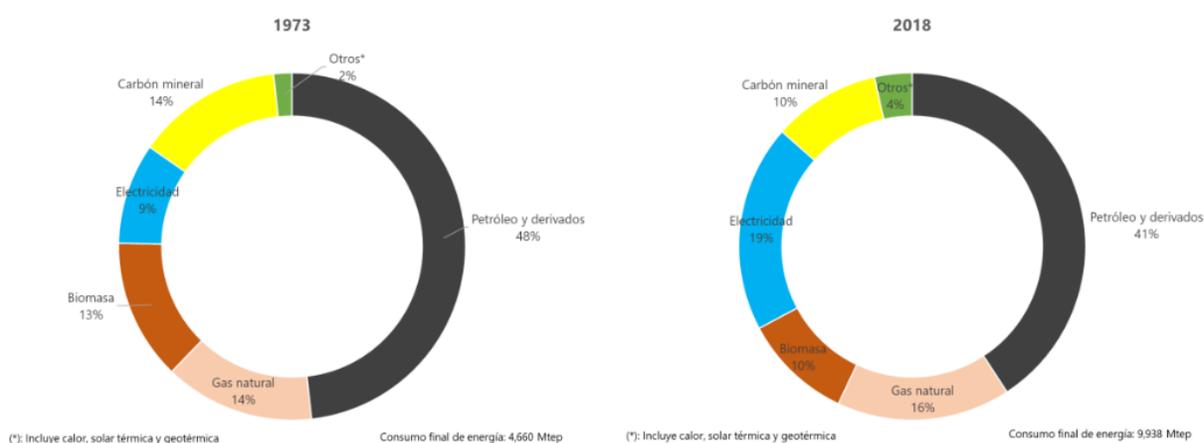


Figura 1. 1 Situación del consumo energético a nivel mundial y para América Latina y el Caribe (ALC). Fuente: (Organización Latinoamericana de Energía, 2020).

En el caso de América Latina y el Caribe (Figura 1.3), el consumo final de energía en el 2019 fue de 618 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), aproximadamente 4 veces más que el consumo registrado en 1973. El consumo final en la región está predominado por petróleo y derivados registrando en el 2019 una participación superior al 50% y con una tendencia del incremento de la utilización de electricidad, gas natural y fuentes renovables.

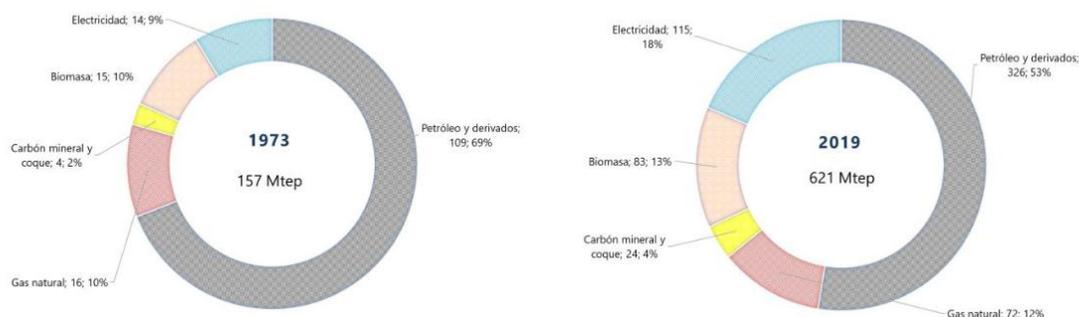


Figura 1. 2 Consumo final de energía a nivel mundial y para América Latina y el Caribe (ALC). Fuente: (Organización Latinoamericana de Energía, 2020).

Al respecto (Hernández et al., 2019) describe el fenómeno como “descarbonización de la economía”; refiere el cambio de tecnologías y técnicas adaptadas a las necesidades ambientales, económicas y sociales como la propuesta para solventar o reducir los problemas energéticos. Se necesitan novedosos modelos para poder hacer frente a los nuevos requisitos de mínimo consumo y consumo sostenible, al mismo tiempo que se realiza la transición a un sistema energético descarbonizado (Grupo Intergubernamental de Expertos para la Evaluación del Cambio Climático, 2014).

En este escenario la energía juega un papel clave, como entrada de los procesos productivos es un bien esencial y básico para el desarrollo; la industria, los servicios y en general toda la actividad económica giran en torno a un consumo energético. El aumento de la demanda de energía y el enorme incremento de los costos energéticos perpetúan a diversos sectores a la búsqueda constante de rentabilidad, en la medida que se logre ser más flexible mayor será la competitividad en el mercado global.

Quimbay Herrera (2020) asegura que el verdadero desafío lo asumen las industrias de materiales de construcción, con la investigación de estrategias transformadoras hacia la

eficiencia energética del edificio que respondan de forma eficiente a los requisitos de calidad y sostenibilidad en un medio natural habitable y de confort. Las principales innovaciones en este sector están enmarcadas en el desarrollo de materiales más eficientes, la economía circular y mejora de los procesos constructivos para satisfacer los nuevos requisitos energéticos.

1.1.1. El reto de las industrias de materiales de la construcción.

Los materiales de construcción pueden fabricarse a partir de minerales no metálicos, algunos de ellos pueden utilizarse directamente como materiales de construcción o también servir de materia prima para producir otros materiales (piedra, arena); en la actualidad, Cozzarini et al. (2020) reconocen que prácticas como la utilización de productos agrícolas (madera, bambú) así como desechos industriales o agrícolas y productos reciclados (lodos de asbesto-cemento, demoliciones, cáscara de arroz, vidrios rotos, etc.) confieren a esta actividad un perfil más sostenible en cuanto al ahorro de portadores energéticos no renovables.

A pesar de ello, las cifras del sector se presentan a menudo con la inclusión de las emisiones del uso de electricidad ; se estima que el 40% del consumo de energía y el 36% de las emisiones de CO₂ corresponden a esta industria (Hunziker et al., 2021); (IPCC et al., 2018) asegura que, bajo un escenario tendencial, estas se duplicarían para 2050.

Para contrarrestar tales efectos, en marzo de 2016 entró en vigencia la primera etapa de la reglamentación térmica de edificios en el bloque europeo (Unión Europea, 2016). En opinión de D'Agostino y Mazzarella (2018), esta iniciativa fue impulsada como parte de una política orientada a mejorar la calidad de vida de la población. La primera etapa establece disposiciones para los complejos de techumbre; fija los valores de pérdida de calor unitaria máxima por zona climática en que se divide el país. La segunda etapa, que entra en vigencia en el año 2019, regula las exigencias de aislación térmica de muros, ventanas y pisos de edificios habitacionales.

La elaboración de la propuesta para la segunda etapa de la reglamentación térmica, sacó a la luz un problema de fondo que pone hoy en riesgo su aplicabilidad (Baek & Park, 2012) : la deficiente aislación térmica de gran parte del parque de viviendas y la necesidad de introducir modificaciones a los sistemas constructivos más utilizados; en

particular a la construcción en albañilería de ladrillo cerámico y de hormigón, la cual no se encuentra tecnológicamente preparada para enfrentar estos requisitos de calidad superior. Los estándares de calidad térmica de ofrecidos por esta tecnología son insuficientes para atender las exigencias reglamentarias en muchas de estas regiones, situación que afecta la competitividad de la industria de materiales de construcción.

Ante este panorama, la autora de esta investigación, considera que las industrias deberán resolver el desafío de modificar los sistemas constructivos en albañilería y hormigón, toda vez que técnica y económicamente sea impracticable su reemplazo.

1.1.2. Tecnologías apropiadas para materiales de muro.

La Unión Europea (UE) ha establecido como meta que todas las nuevas edificaciones tendrán que ser “edificios de consumo de energía casi nulo” (nZEB, según sus siglas en inglés: *Nearly Zero Energy Buildings*). Una edificación nZEB, según (Sartori et al., 2012), es un edificio con un consumo energético operacional altamente reducido donde se han implementado medidas de eficiencia energética que permiten que el consumo pueda suplirse mediante el uso de fuentes renovables.

Esta nueva propuesta cuenta con amplia recepción fuera del bloque regional europeo en contextos tan disímiles como los Estados Unidos, la India y China (Cumo et al., 2012); posición que ha cambiado la manera de resolver los problemas energéticos en las construcciones, debido a que integra en un mismo objeto de análisis, las valoraciones de consumo y generación, además del impacto energético del diseño y la construcción. La verificación de las exigencias de eficiencia energética de los edificios residenciales toma en cuenta aspectos como:

- la limitación del consumo energético
- control de la demanda energética
- uso de fuentes renovables de energía

Además de tales aspectos, las normas resaltan la importancia de utilizar la ejecución de los muros de la envolvente materiales térmicamente mejorados. Según antecedentes del (Organización Latinoamericana de Energía, 2020), entre los años 2000 y 2008 el 41,1% de las viviendas construidas utilizaron ladrillos cerámicos en la confección de muros y en el 8,7% ladrillos combinados con otros materiales. Otros tipos de muro fueron confeccionados en hormigón (25,8%), madera (12,4%) y bloques de mortero de

cemento (5,8%) Evaluaciones experimentales de las propiedades térmicas de muros de albañilería de ladrillo realizados arrojaron valores U entre 2,0 y 2,5 $W/m^2 K$, estándares de aislación térmica que son considerados precarios, atendidas las necesidades del uso óptimo y mínimo de energía en los edificios y los requerimientos de protección térmica que propone la nueva reglamentación (Dall'O' et al., 2015).

Por ende, para el modelo europeo (Unión Europea, 2010), resulta clave incorporar un indicador de consumo de energía primaria total ($C_{ep, tot}$), que incluye tanto energías renovables como no renovables, y está orientado a garantizar un equilibrio entre un uso eficiente de energía y el fomento del uso de estrategias para la reducción de la demanda relacionadas con la calidad constructiva del edificio.

De acuerdo a la decisión de organismos técnicos, se necesitará desarrollar soluciones de “refuerzo térmico” que conllevarán la incorporación de otras tecnologías y materiales: ladrillos cerámicos de baja conductividad térmica; distintos revestimientos térmicos aplicables a muros, dobles muros, etc (Antón Rodríguez, 2021). Esta situación se traduce en otras faenas y costos adicionales que evidentemente replantean la viabilidad técnica y económica de las tecnologías constructivas para muros en albañilería y hormigón.

Por ello, de acuerdo con (Rueda Guzmán, 2004) urge la necesidad de introducir cambios en los actuales sistemas constructivos para mejorar el comportamiento higrotérmico y aislante de la construcción local en albañilería de ladrillo y hormigón, la alternativa promulga el desarrollo e introducción en el sector de innovaciones en materiales y el diseño térmico de muros para mejorar los estándares de calidad de este tipo de soluciones.

De esta forma, se concluye que el diseño de los ladrillos es determinado fundamentalmente por factores técnicos de tipo estructural e hídrico, factores económicos relativos al uso de material arcilloso principalmente, otros relacionados con la modulación arquitectónica de muros y, de manera importante, por las restricciones que imponen los procesos de fabricación industrial.

1.2 Sector ladrillero: evolución tecnológica hacia características del tipo energético eficientes.

El ladrillo, un producto de cerámica usado desde tiempos antiguos, es todavía valorado por su fácil disponibilidad de recursos, resistencia a cargas, estrés ambiental y su calidad estética (Coletti & Cultrone, 2016). Además, el ladrillo es considerado como uno de los materiales de construcción más preciados de la civilización moderna, debido a su bajo precio y sigue siendo una alternativa para las industrias de construcción por su relación costo beneficio, convirtiéndolo en el material más popular en países del tercer mundo (Sikder & Begum, 2016). Adicionalmente, es uno de los materiales de construcción más durables y ha sido usado en construcción durante toda la historia de la humanidad.

Según refiere NC 360: 2005 (Oficina nacional de normalización, 2005), el consumo de energía en la producción de ladrillos está presente en todo el proceso, pero su consumo más alto está asociado a la etapa de horneado o cocción, independientemente de la tecnología que se utilice (Bravo Amarante et al., 2014). Para poder emprender acciones de mejora de la eficiencia energética en la producción de ladrillos, es necesario conocer los fenómenos termodinámicos que están presentes en el interior de un horno en la etapa de cocción. Estos fenómenos están dados por las tres principales formas de transferencia de calor (Incropera & Dewitt, 1999):

Conducción: se manifiesta cuando un objeto a una temperatura está puesto en contacto con otro de menor temperatura, o cuando el calor aplicado al extremo de un objeto se transfiere hacia la otra extremidad.

- Convección: cuando un fluido, líquido o gaseoso, absorbe calor de una fuente caliente y lo transporta hacia el objeto más frío.
- Radiación: transmisión directa del calor en forma de onda electromagnética y no requiere ni contacto ni fluido intermediario.

La cocción del ladrillo forma parte de un proceso térmico controlado que se realiza a los materiales cerámicos con el fin de convertir el material moldeado irreversiblemente en un producto duro, resistente al agua y a los productos químicos. Existen dos clases de cocción: bicocción, donde la primera cocción es la de bizcocho, en la cual la pasta se madura y a continuación se esmalta el material y se somete a la segunda cocción para

la maduración del esmalte; la monococción: tanto pasta como esmalte se maduran a la misma vez por medio de una sola operación (Cengel & Ghajar, 2007).

En el cocido están presentes las tres formas de transmisión del calor. Para cada una de ellas, Campion y Thiel (2013) expone que hay parámetros que determinan la eficiencia con que el calor de los gases procedentes de la combustión es cedido al ladrillo (coeficiente de transmisión del calor, capacidad calórica, calidad de los gases, velocidad de los gases, etc.), por tanto, se identifican tres elementos que definen la eficiencia energética en este proceso:

- Los parámetros físico-químicos de la masa de arcilla a hornear
- Las características del combustible utilizado
- El diseño del horno

Como plantea (Pacheco Paladini et al., 2021), la gran diferencia existente entre el calor que se requiere teóricamente para el secado y la cocción de piezas cerámicas y el empleado realmente, da una idea de las posibilidades de ahorro. Ante la demanda de materiales con resistencia a las altas temperaturas y presiones que tengan propiedades mecánicas superiores, se han desarrollado nuevos productos, con características eléctricas especiales o resistente a la corrosión química. Desde el punto de vista energético, (Rodríguez Ramírez et al., 2020) alude a las mejoras e innovaciones para elevar el rendimiento de las distintas operaciones, se pueden resumir así:

- Disminución del calor de reacción y de secado.
- Disminución de los niveles de temperatura utilizados.
- Disminución del tiempo de las operaciones.
- Disminución de las pérdidas de calor y de materiales (roturas).
- Mejoría de la calidad de los productos finales.
- Uso de calor residual.

La industria cerámica ha pasado en un tiempo relativamente corto de una tecnología artesanal a una tecnología avanzada pasando de procesos de bicocción a procesos de monococción, más eficientes y menos consumidores de energía que los primeros. Sin embargo, el consumo de recursos no renovables hace que sea una de las industrias menos sostenibles del mundo. La implementación de reglamentos constructivos más estrictos en materia de energía es la iniciativa más utilizada por los gobiernos (Scalco

et al., 2012); (Annunziata, 2013); (Abela et al., 2016); aun así, las políticas deben evaluarse de manera general como perspectiva para afrontar la problemática acorde a las características de cada región.

1.2.1. Particularidades de la industria en el escenario constructivo cubano.

En el caso cubano, alrededor de 10 000 viviendas se construyen cada año, más del 40% de estas utilizan muros de albañilería prensado con ladrillos o tecnologías prefabricadas (Comité Central del Partido Comunista de Cuba, 2021). En el país, las empresas del sector están preocupadas por el tema del mejoramiento de la calidad térmica de las viviendas, debido a que podría significar que los costos de construcción se incrementen, al persistir la ausencia de un enfoque de ciclo de la vida de la vivienda como edificación (González Couret, 1997).

El programa de producciones local de materiales de construcción, es el programa rector en Cuba que soporta la ejecución de viviendas (Ministerio de la Construcción MICONS, 2014). Por su complejidad, exige contar con un capital humano preparado técnicamente y con dominio del oficio que va a desempeñar. En ese sentido los municipios tendrán que asumir producciones y actividades nuevas, que no realizaban hasta ahora y no cuentan con personal preparado para llevarlas a cabo, por lo que tendrán que desarrollar con toda rapidez cursos emergentes de formación y capacitación, utilizando personal del propio municipio y además todas las posibilidades que brindan los Ministerios de la Construcción y el de Educación.

No obstante, la determinación de enfrentar el proceso de desarrollo y la innovación, requiere de un análisis de las circunstancias en las que se desarrollará, siendo determinante la tipología del proceso u organización de aplicación y el objetivo que se persiga. Estas valoraciones las realiza Gómez Avilés (2006), teniendo en cuenta los aspectos de los modelos de excelencia hasta hoy desarrollados, y que esta autora considera se corresponden con la situación que presentan las industrias de materiales de la construcción cubanas, por lo que no se favorece un acercamiento al mejoramiento en este proceso.

1.3. El mejoramiento de la calidad en los procesos industriales

La concepción de mejoramiento de la calidad constituye un componente decisivo en toda actividad empresarial; y tal como se presentan las operaciones de los procesos

industriales, sujetas cada vez más a los factores emergentes del entorno, requieren de nuevos planteamientos para la calidad que se conciben; (Juran & M. Gryna, 2001) lo definen ajustándose constantemente a las «mejores prácticas de producción», con otras formas de comparación y regulación que pueden diferir de las utilizadas hasta el momento.

Sobre el tema, (Moen & Tomas, 2000) establecen que el mejoramiento se realiza a través de la orientación continua de los esfuerzos, para saber acerca del sistema de causas en un proceso, y usar este conocimiento en cambiar el proceso, reducir la variación y complejidad, así como mejorar la satisfacción del cliente (se incluyen los cliente internos).

Por ende, promover el cambio en una organización implica aunar los temas: tecnología y cultura (Juran & M. Gryna, 2001), las tecnologías base de productos y procesos, y la cultura para considerar la calidad como un objetivo principal, modelo o escenario emocional, donde se desarrollen y evolucionen hábitos, convicciones y conductas humanas respecto a la calidad;. Al respecto (B. Gómez Avilés et al., 2010), consideró este planteamiento desde la perspectiva que se reconocen conciliados con poca frecuencia, y los abordó con la implicación dentro del procedimiento general para la mejora de la calidad de un proceso industrial, variables organizacionales, su evaluación y propuesta de intervención, lo que permitió colocar la industria en capacidad de desarrollar estrategias de trabajo relativas al factor humano, vinculadas directamente a mejoras del proceso y que contribuyan al desempeño industrial.

En este sentido, los propósitos del mejoramiento de la calidad, resultan de interés para las industrias de proceso, pues como aseguran(Woodall, 2000), son muchos todavía los desafíos, con experiencias de derroches inaceptables y arbitrariedades, al definir los requisitos para su desempeño. (Juran & M. Gryna, 2001) plantean que se subestiman los problemas de calidad y lo que estos representan en la rentabilidad financiera a largo plazo; por lo que el objetivo debe estar orientado a refinar las herramientas para lograr la detección oportuna de las causas que provocan tales alteraciones y poder obtener los beneficios esperados.

Al respecto (Mahto & Kumar, 2008), refieren que la identificación de las causas raíces relativas a los problemas de calidad y productividad, son claves en la ejecución de los

procesos de manufactura, con tecnologías tan atrasadas como la utilizada en la industria de materiales de la construcción en Cuba y particularmente en Sancti Spiritus, e incluso en organizaciones con acceso a la alta tecnología.

1.3.1. Los enfoques de calidad como estrategia para la gestión empresarial

El concepto de calidad se ha mantenido en constante evolución, al encontrarse insertado en el contexto de la época en que se define. Como plantea Gómez Avilés (2006), a partir de la proclamación de Feigenbaum del Total Quality Management (TQM) y los conceptos con acción en Japón en la década del 50, se establece una fuerte asociación de la calidad y la gestión empresarial, que tiene su reconocimiento en los años 80, al declararse como «paradigma dominante» de gestión el Total Quality Management (TQM), asociada a la cultura organizacional (ver figura 1.4).

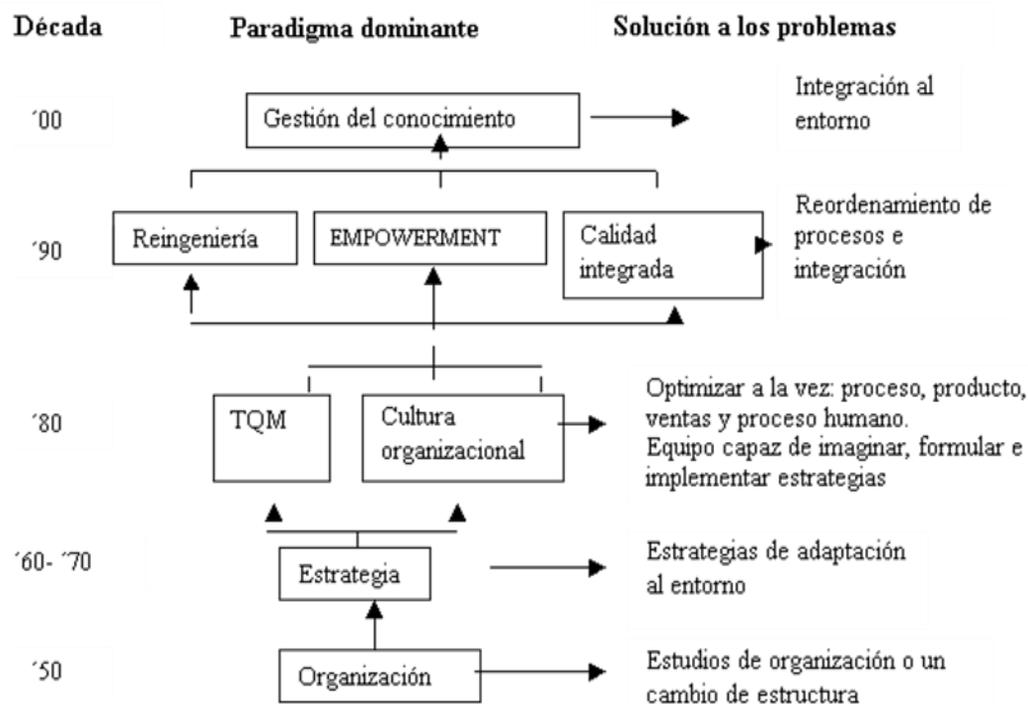


Figura 1.4. Paradigmas dominantes en la gestión empresarial. Fuente: Gómez Avilés (2006).

Lo anterior ha propiciado el desarrollo de diferentes enfoques de calidad, donde se organizan los esfuerzos científico- técnicos, para adaptar la operación de los sistemas tecnológicos y administrativos en forma rentable y competitiva. Dentro de los enfoques más reconocidos en la literatura, por la contribución que han tenido en el logro de metas

estratégicas están: el Aseguramiento de la Calidad, el TQM y el Aprendizaje de Calidad Total (siglas en inglés: TQL).

A partir de estos enfoques, la literatura refleja diferentes niveles de desarrollo, propios de la evolución del concepto de calidad. Se coloca al Aseguramiento de la Calidad, según varios autores citados por (Jabnoun et al., 2003), como una extensión del control de calidad interno, donde se plantea la medición y el control sistemático, determinantes en el logro de conformidad con los requerimientos en productos, servicios y procesos; para este las normas ISO 9000 establecen las reglas básicas. Al respecto las empresas cubanas plantean sus exigencias para organizar y/o certificar sus sistemas de calidad, en la búsqueda de una garantía comercial de sus productos, precisamente basadas en las normas ISO 9000, por lo que Gómez Avilés (2006) afirma que es una necesidad proyectar prácticas de calidad, con alternativas que tengan un fuerte impacto en la forma de operar los procesos, para contribuir metodológicamente a la introducción progresiva de las normas ISO 9000 en las organizaciones cubanas.

Por otra el TQM se establece como la combinación de la dimensión de formalización del Aseguramiento de la Calidad, con las dimensiones de aprendizaje de la mejora continua y la satisfacción del cliente; para lo cual, según (Ishikawa, 1986), se necesita de una estructura con una complejidad superior al Aseguramiento de la Calidad, para ajustar los ambientes internos y externos. En el TQM se promueve la importancia de la cultura organizacional, y se refleja así en las bases teóricas que sustentan diferentes premios a la calidad, como por ejemplo el americano The Malcolm Baldrige National Quality award (MBNQ) y el Modelo de excelencia de la Fundación Europea de Gestión de Calidad (siglas en inglés EFQM), este último extendido a Iberoamérica en la Cumbre de Oporto, y del cual Cuba forma parte desde la cumbre de la Habana en 1999.

Con la revisión de las normas ISO 9000:2000 (ISO, Organización Internacional de Normalización, 2015) se percibe un acercamiento entre el Aseguramiento de la Calidad y el TQM, por el marcado enfoque de proceso (a partir de un conocimiento detallado de éste, así como el compromiso y participación de la dirección y los trabajadores), al respecto en estas normas se establecen las Directrices para la mejora del desempeño en la ISO 9004 (ISO, Organización Internacional de Normalización, 2015). Lo anterior (B. Gómez Avilés et al., 2010), lo plantea como una necesidad de involucrar elementos

de ambos enfoques, para contribuir al enriquecimiento de las prácticas actuales, que en Cuba, han estado dirigidas al cumplimiento formal de orientaciones metodológicas, por lo que en términos de calidad, domina la orientación hacia la calidad del producto terminado y la solución de problemas operativos (B. Gómez Avilés, 2003).

Dentro del contexto evolutivo de los enfoques y ante la necesidad de las organizaciones de un adelantamiento interno frente al impacto externo, se introduce por Sitkin et al. (1994) citado por (Jabnoun et al., 2003) el TQL, el cual constituye un enfoque, que en su esencia ofrece el aprendizaje como eslabón de enlace entre las las dimensiones de satisfacción del cliente y la mejora continua, en vez del control como lo presentan los anteriores enfoques; con lo cual se plantea la correspondencia con el paradigma de gestión a partir del 2000 (ver figura 1.4).

En resumen, Gómez Avilés (2006) refiere que con estos enfoques se obtienen: las exigencias de control del Aseguramiento de la Calidad; el balance entre control y la exploración con el TQM; y en el TQL, el planteamiento de la dedicación por completo a la exploración. Constituyen, por tanto, complementos que responden a la evolución experimentada por las ciencias empresariales, condicionadas por las exigencias generadas en la práctica de las organizaciones.

Los principales rasgos que caracterizan los diferentes enfoques valorados anteriormente, son reconocidos en la literatura tanto desde el punto de vista teórico como práctico, sin embargo, plantea Gómez Avilés (2006), que en Cuba no existe una identificación real de las posibilidades que pueden brindar; a criterio de esta autora, estas actitudes influyen en las estrategias que se siguen en las prácticas de calidad con enfoques metodológicos, basados en exigencias muy generales.

Su aplicación en los procesos industriales se realizan sin arraigo de una cultura de calidad, y carente de herramientas que centradas en la mejora en la operación de los procesos, conduzcan a un cambio organizacional en correspondencia con las características tecnológicas y organizativas de la entidad involucrada, los recursos disponibles y la interrelación con el entorno en que esta se desempeña. Ante tal situación, se precisa de estudios que desarrollen nuevos requisitos para hacer viable la implementación en la estrategia empresarial, como demanda hoy las prácticas de calidad en la industria de materiales de la construcción.

1.4. La calidad desde el diseño como estrategia para la planificación operativa en la industria.

La consolidación de la gestión del conocimiento como un factor determinante en la competitividad de las industrias del mundo globalizado ha cuestionado sus paradigmas acerca de la implementación de los conceptos de aseguramiento de la calidad, desarrollo de producto y productividad, y su apropiación en una organización ha constituido una característica diferenciadora y generadora de ventajas competitivas (García Aponte et al., 2015). Manohar D et al. (2020) señala que su aplicación en las industrias de proceso ha significado la evolución desde la calidad por ensayo (*Quality by Test [QbT]*) a la calidad desde el diseño (*Quality by Design [QbD]*), propuesta por (Juran & Gryna, 1991).

En este sentido, QbD se fundamenta en el empleo de ciencia verificable y en la toma de decisiones en función de la gestión del riesgo en calidad para lograr la máxima satisfacción del cliente. De esta forma se fortalece el aseguramiento de la calidad, al no limitarlo a la ausencia de desviaciones sino a una práctica que reduce integralmente el potencial de ocurrencia de las no conformidades sobre la base del conocimiento de las variables del producto y de su proceso productivo (Weinberg, 2011).

La calidad desde el diseño toma elementos desarrollados décadas atrás por diferentes expertos de la calidad y de la gestión del conocimiento y comparte principios con otras metodologías de desarrollo de producto y de gestión de la calidad (referenciar). En sus inicios, la calidad se limitaba a la inspección del producto; sin embargo, fue complementada con el concepto de control de la calidad sistemático y estadístico, consolidando el Control Total de la Calidad (*Total Quality Control*) de Armand Feigenbaum (Feigenbaum, 1961). Esto permitió una novedosa definición del aseguramiento de la calidad, en donde la documentación se constituye en un aspecto estructural. Igualmente, surgieron estándares internacionales como las normas ISO9000 (ISO, 2000, 2005, 2008), que hicieron extensiva la calidad a todos los miembros de la empresa con un enfoque centrado en el cliente, los procesos y su integración en sistemas.

Como primer paso para plantear la manera de abordar el enfoque al cliente, (Panal Leiva et al., 2022) propone hacer una reflexión acerca de cómo la norma ISO

9001:2015 establece las estructuras para llevarlo a cabo. La propia norma ISO 9001:2015 «SGC. Requisitos», establece que forma parte de los ocho principios de gestión de la calidad, su práctica permite a la alta dirección conducir a la organización hacia robustecer su posicionamiento en el mercado (referenciar). Diversos autores (referenciar varios) coinciden que cuando se adopta este enfoque, se enfatiza la importancia de:

- a. Comprender y cumplir con los requisitos.
- b. Considerar los procesos en términos que aporten valor.
- c. Obtener los resultados del desempeño y eficacia del proceso.
- d. Mejorar continuamente los procesos con base en mediciones objetivas.

Al igual que los conceptos de calidad que han precedido a QbD, para diferentes tipos de organizaciones se ha demostrado la relación entre la innovación, el cumplimiento de los requisitos de los productos y la satisfacción de los clientes (Al-Hakim y Jin, 2014); es predecible que la puesta en marcha de programas de aseguramiento de la calidad que involucren QbD como uno de sus elementos esenciales, fortalezca la capacidad innovadora de una empresa. El énfasis en estos aspectos sirve de punto de partida para justificar la estructura de esta nueva filosofía de gestión y trasladar este enfoque a los requisitos de manera particular a cada escenario productivo.

1.5. Herramientas para el ordenamiento y clasificación de requisitos en procesos industriales.

Cuando se desea proyectar un sistema de medición de un proceso, el primer paso obligado y trascendente, por el papel que desempeñan los parámetros en la producción, es una selección cuidadosa de estos para ser medidos a lo que se puede agregar, la sugerencia de Juran y Gryna (2001) sobre la necesidad de conocer la importancia relativa entre las características del producto. Al respecto, (Panal Leiva et al., 2022) plantea que la identificación de las etapas del proceso con sus variables y parámetros facilitará definir los puntos críticos y clasificar sus características, de manera que se obtenga la capacidad de asignar los recursos: tiempo y dinero, a los aspectos más rentables y beneficiosos del proceso.

No obstante, la importancia del tema, (Juran & M. Gryna, 2001) reconocen que se manifiestan objeciones respecto a consumir tiempo en la clasificación de características, con argumentos tales como:

- “Todas las características son críticas”. En realidad, la gran cantidad de características provocan la necesidad de definir prioridades, en la ejecución de los procesos de inspección y fabricación; a lo que se suman las exigencias que impone el entorno respecto a cambios de estrategias de producción, que implica ejecutar esquemas de control en circunstancias diferentes. Estas prioridades las debe otorgar el personal preparado para ello, sino alguien sin experiencia tomará la decisión.
- “El rango de tolerancia facilita una clasificación de la importancia relativa de las características del producto”. El hecho es que, la criticidad no depende tanto del rango disponible en una determinada dimensión, como del efecto que puede tener en el sistema en general.

Al respecto, estudios referenciados por Juran y Gryna (2001) han estado dirigidos a la clasificación de las características del producto, estudios realizados tratan las relaciones entre características de control, en términos de fuerte, media o débil, pero sólo para el producto final. También se obtiene, organiza y clasifican por prioridades datos procedentes de los clientes para determinar características claves de los productos y procesos. Sin embargo como plantea (B. Gómez Avilés et al., 2010) en estos trabajos no se aborda cómo establecer las relaciones de estas características a través de las etapas de un proceso industrial.

El refinamiento de las habilidades tecnológicas del personal responsable del control de proceso en la industria de materiales constructivos, se corresponde con las exigencias que se establecen para el control de producción en López Figueredo; E, (2005). Este proceso que está caracterizado tecnológicamente presenta, sin embargo, situaciones como las expresadas en Fardales Pérez y Gómez Avilés (2005), donde opiniones de los expertos muchas veces son contradictorias; especialistas que tienen la tendencia a tomar caminos cortos en la solución de problemas en detrimento de la calidad de los subproductos y/o producto final; la cantidad de variables que es normalmente alta y la interacción entre estas es compleja.

Sobre estas relaciones Juran y Gryna (2001) plantean que deben situar al control de proceso en el contexto apropiado, según proveedores y clientes, y para ello es necesario considerar:

1. las exigencias técnicas de la próxima etapa;
2. los resultados exigidos por el entorno y
3. la participación del personal en la toma de decisiones de acuerdo al nivel tecnológico existente.

(Marrero Delgado, 2001) refiere que, para poder comprender las necesidades de los usuarios, se necesita robustecer el proceso de toma de decisiones hacia lo interno de la organización, precisa considerar el concepto de decisión, como la elección que se hace entre medidas optativas, siempre que se conozcan estas. En ello interviene un conjunto de decisiones como: (1), la decisión de buscar medidas optativas; (2), la decisión de determinar las posibilidades de éxito; (3), la elección real de las medidas optativas para satisfacer más plenamente las posibilidades

En tal sentido, la integración de técnicas del Paradigma Decisional Multicriterio y herramientas de gestión de calidad como el *Quality Function Deployment* (siglas en inglés: QFD), pueden aportar elementos esenciales para la selección de características tecnológicas, en un proceso industrial estructurado en etapas, bajo la concepción cliente-proveedor (Ishikawa, 1986).

- *Utilidad del Paradigma Decisional Multicriterio (PDM)*

En los sistemas o procesos complejos, con muchas variables implicadas (Harvey, 2004), independientemente de lo diferente que sean los procedimientos analíticos para la toma de decisiones, (Asencio-García; Kalifa-K, 1994) reconocen que la óptica multicriterio constituye un instrumento auxiliar en la decisión final, por lo importante que resulta utilizar varias medidas de comparación, para las diversas alternativas consideradas. Al respecto, (Marrero Delgado, 2001) refiere el aporte de objetividad y legibilidad al proceso decisorio, ya que toda decisión, incluso individual, es un compromiso entre diversas aspiraciones, imposibles de satisfacer en toda su plenitud.

En los seis axiomas del proceso de decisión multicriterio planteados por (Romero-Casillas; Pomerol-J, 1997) (Anexo 1), se revela la intervención de varios actores en el proceso de decisión multicriterio: clientes o mandantes, los decisores, el analista o

equipo de estudio y el usuario del Sistema Informativo de Ayuda a la Decisión Multicriterio (Marrero Delgado, 2001).

La literatura especializada reconoce tres elementos fundamentales que caracterizan el: PDM: Las alternativas no se aíslan de la discusión de los criterios; Los criterios, atributos, objetivos o metas, no son independientes. Los pesos se deben determinar de conjunto y simultáneamente con las utilidades relativas de los criterios. En esta determinación, se consideran los aspectos de: la visión global que haga depender los pesos del conjunto de los criterios y las relaciones que puedan existir entre ellos, la conexión entre los pesos, así como las escalas utilizadas para medir la utilidad de cada alternativa.

El aspecto esencial de las escalas en la modelación multicriterio (Romero-Casillas; Pomerol-J, 1997), (Marrero Delgado, 2001) tanto en el propio momento de emitir la opinión los expertos, como en todo el procesamiento que se realiza sobre la información obtenida, no se refleja con igual fuerza en las referencias que sobre los procesos de gestión y planificación de la calidad se publican por (Nancy-R, 2004); los desarrollos del QFD se trabajan con la escala clásica de (9: fuerte, 3: media, 1: baja ó 0: ninguna).

El PDM, brinda soluciones eficientes en el sentido paretiano; lo que refuerza su uso en el proceso de construcción de un orden [Problemática de ordenación], (Romero-Casillas; Pomerol-J, 1997), para las características tecnológicas en procesos industriales, y con ello, facilitar el otorgamiento de prioridades en clases [Problemática de clasificación], (Romero-Casillas; Pomerol-J, 1997); en opinión de esta autora, constituyen problemáticas a partir de las cuales la industria, puede lograr un acercamiento al análisis multicriterio, en los análisis de datos que se realizan actualmente; de esta forma favorecer el conocimiento del proceso y las mejoras que en estos puedan realizarse.

La amplia utilidad del PDM en investigaciones recientes en el área de investigación de operaciones (Marrero Delgado, 2001); (Abreu-Ledón, 2004) ;(Knudsen-González, 2014); entre otras, propician la posibilidad de enriquecer las herramientas de evaluación y toma de decisiones, que con el empleo de expertos, se propone esta investigación; para contribuir de esta forma a la flexibilidad de los esquemas de control del proceso

industrial del ladrillo, en cuya conformación entran en conflicto intereses propios de la formación de los especialistas involucrados.

Tales aspectos resultan relevantes por el sistema de procesos dentro de la organización; en cuanto a la identificación e interacciones, y su gestión para producir el resultado deseado, según la exigencia del “enfoque al cliente” (ISO, Organización Internacional de Normalización, 2015). Los elementos antes descritos, aunque no se abordan en la literatura consultada sobre la industria de materiales de construcción, resultan de gran utilidad para poder responder a las exigencias del entorno y a los requerimientos energéticos del mercado actual, a lo que el proceso industrial debe responder con mayor efectividad, al disponer de poco tiempo y recursos para ello.

1.6. Conclusiones parciales.

La revisión de los principales referentes del estado del arte sobre la gestión de la calidad en procesos industriales, herramientas de planificación y diseño, así como las tecnologías actuales de la industria ladrillera arrojó las conclusiones siguientes:

1. Las industrias de materiales de construcción precisan de estrategias transformadoras y desarrollo de nuevos productos que respondan de forma eficiente a los requisitos energéticos y de calidad exigidas por el mercado constructivo actual.
2. La construcción de edificaciones de consumo de energía cero o casi cero demandan de la utilización de materiales de muros térmicamente mejorados que garantice el cumplimiento de los requisitos de protección térmica que propone la nueva reglamentación relacionadas con la calidad constructiva del edificio.
3. Las herramientas de mejoramiento de calidad bajo el enfoque QbD, QFD y Paradigma Decisional Multicriterio resultan de gran utilidad a la industria cubana de materiales de construcción para poder responder tanto a las exigencias del entorno como a los nuevos requerimientos energéticos del mercado actual.

Capítulo 2: Etapas para la evaluación de características tecnológicas críticas de calidad en el proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes.

El presente capítulo describe la fundamentación teórica de las etapas (Figura 2.1) que permitieron la evaluación de características tecnológicas críticas en el proceso objeto de estudio. Para su concepción se consideraron los procedimientos de Gómez Avilés (2006) y (Panal Leiva et al., 2022), lo cual permite proponer una estrategia de planificación operativa de calidad para la producción de ladrillos altamente aislantes que cumpla los requisitos establecidos en la construcción de edificaciones de bajo consumo de energía en el contexto cubano.

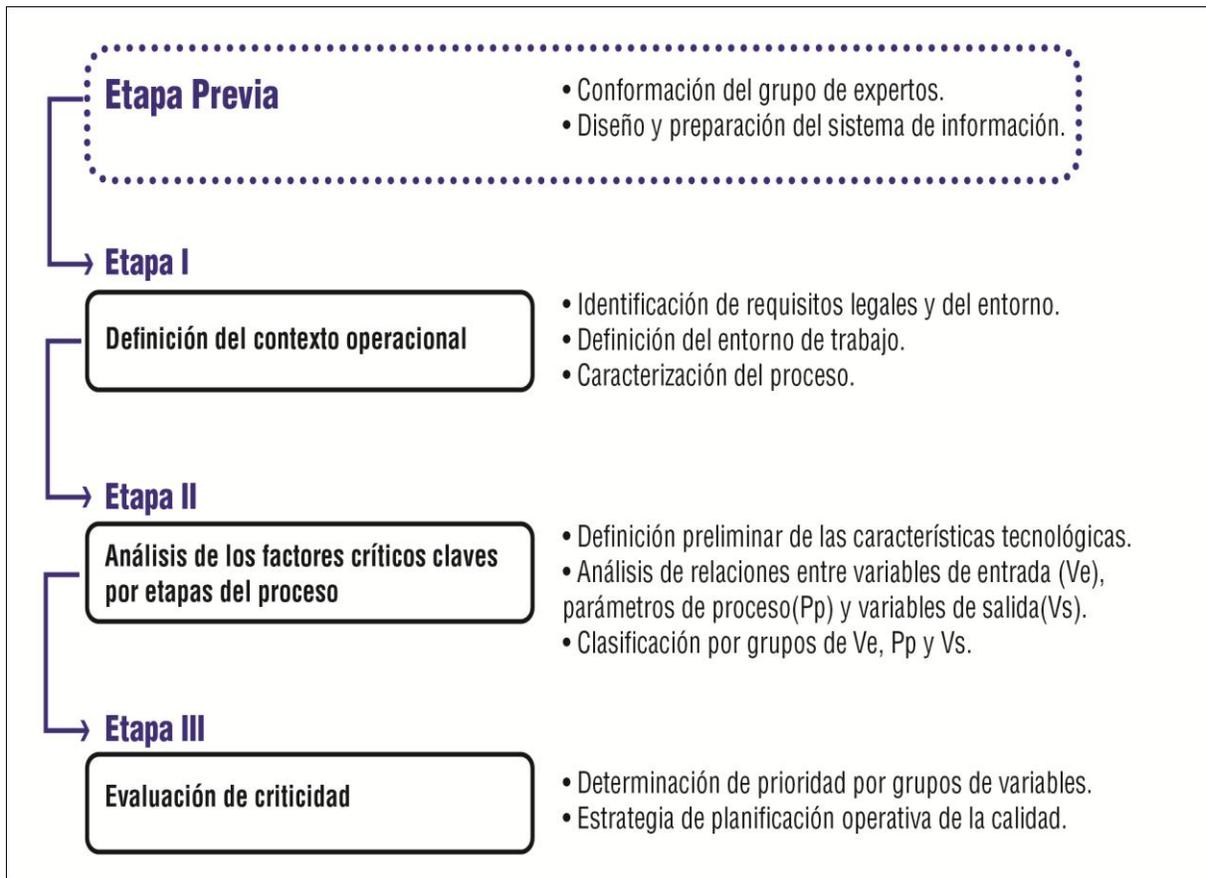


Figura 2.1. Etapas utilizadas para la evaluación de características críticas de calidad.

Fuente: Elaboración propia de la autora.

2.1. Premisas para el establecimiento de una concepción de calidad desde el diseño.

Para la construcción del procedimiento, se toma como referencia la propuesta de Gómez Avilés (2006), en la que se plantea que el análisis por etapas en un proceso industrial permite la identificación de requisitos desde una concepción cliente-proveedor. La adopción del Despliegue de la Función Calidad para identificar los QUÉ (variables de entradas) y los CÓMO (parámetros de proceso), justifica la necesidad de considerar las variables que tienen impacto en la calidad del producto y el sistema de predominio del proceso, de forma tal que se garantice el cumplimiento de los requisitos de aislamiento térmico desde fase de desarrollo del producto, aportando así una concepción de calidad desde el diseño.

La propuesta se realizó sobre las premisas siguientes:

- Promover la utilidad de la concepción cliente- proveedor, en la evaluación de la eficiencia y la eficacia de las mejoras en el proceso productivo.
- Aportar adaptabilidad a través del soporte teórico- metodológico que permite ajustarse a las necesidades del proceso industrial.
- Estimula el aprendizaje, con el uso de técnicas de análisis estadístico y elementos del Paradigma Decisional Multicriterio, requiriéndose de los involucrados: directivos, especialistas y obreros, su capacitación en las técnicas a aplicar para profundizar en el conocimiento del proceso.

2.1.1. Descripción de las etapas para la evaluación de características tecnológicas críticas de calidad.

A través de las etapas definidas, se pretende obtener una evaluación de aquellas características tecnológicas que resultan críticas para la calidad, teniendo en cuenta las implicaciones en el proceso y las perspectivas para su desempeño industrial en el escenario cubano.

Se establece la caracterización y ordenamiento en función de las relaciones entre características y los requerimientos productivos, obtener prioridades por grupos de variables que facilitan el diseño de una estrategia de planificación operativa de calidad para desarrollar la producción de ladrillos altamente aislantes en Cuba.

2.1.2. Etapa Previa

La **etapa previa** consiste en la preparación del estudio, la conformación del grupo de expertos y el entrenamiento de sus miembros en relación a los antecedentes del tema objeto de estudio, los objetivos a evaluar, así como los instrumentos de medición utilizados.

2.1.2.1. Cálculo de número de expertos y selección

La cantidad necesaria es determinada según el modelo Binomial (Expresión 2.1):

$$n_e = \frac{p(1-p)}{i^2} \quad \text{Expresión 2.1}$$

Dónde:

n_e : cantidad de expertos necesarios

p : proporción estimada de errores de los expertos

i : nivel de precisión deseado con la estimación

k : constante asociada al nivel de confianza elegido ($1-\alpha$)

(1- α)	α	$\alpha/2$	Z $\alpha/2$	k
0,90	0,10	0,05	1,64	2,6896
0,95	0,05	0,025	1,96	3,8416
0,99	0,01	0,005	2,58	6,6564

Para la selección de los expertos, se tiene en cuenta los conocimientos específicos y la calificación técnica se propone el procedimiento de Hurtado de Mendoza (2003). Los resultados de la aplicación del procedimiento se muestran en los Anexos del 2 al 6.

El trabajo parte del compromiso de los participantes, para hacer confluir intereses dispares con el mínimo de tiempo de entrenamiento, se considera la utilidad del enfoque del “QFD”, como herramienta para el análisis las relaciones entre etapas del proceso industrial.

2.1.2.2. Diseño y preparación del equipo evaluador

Una vez conformado el grupo de expertos, se realiza la preparación necesaria para abordar el tema objeto de estudio. Se explican los objetivos a cumplir con el trabajo con expertos, así

como los instrumentos a utilizar para la obtención y procesamiento de la información (Figura 2.2).

Asigne el grado de la relación las entre características técnicas, en la Etapa "z", para la producción "Y", según su opinión.
Escala: 3: Fuerte, 2: Media, 1: Débil ó 0: No existe; para asignar el grado de la relación entre:
 VE - Pp y VE - VS:

VE: Variables de Entrada; Pp: Parámetros de proceso y VS: Variables de Salida.
Etapa "z" del proceso de producción de arroz.

VE _i	Grado de la relación (VE _i - Pp _j) o (VE _i - VS _j) = R _{ij}					
	Pp ₁	.....	Pp _n	VS ₁	.....	VS _p
VE ₁	VE ₁ - Pp ₁ (R ₁₁)	.....	VE ₁ - Pp _n	VE ₁ - VS ₁	.....	VE ₁ - VS _p (R _{1p})
.	.	R _{ij}	.	.	R _{ij}	.
VE _m	VE _m - Pp ₁ (R _{m1})	.....	VE _m - Pp _n	VE _m - VS ₁	.....	VE _m - VS _p (R _{mp})

Figura 2. 2 Formato para la obtención de la opinión de los expertos.

2.1.3. Etapa I: Definición del contexto operacional.

La definición del contexto operacional comienza con la identificación de los requisitos legales que regulan el desempeño del proceso en el país. Un adecuado análisis técnico - normativo referente a la industria ladrillera, permite definir las brechas legales presentes en el entorno cubano, y con ello, la definición de rutas de acción necesarias para su adecuación a los requisitos actuales. Paralelamente, se garantiza el cumplimiento de los requerimientos de conformidad con una concepción desde el diseño, en los que se tendrán en cuenta prestaciones en el orden económico, social y ambiental que aportan a este proceso un perfil más sustentable.

Para la definición del entorno de trabajo se toma en cuenta el análisis geo-espacial de las zonas con disponibilidad de materias primas y capacidades robustas de arcilla, dígame yacimientos o concesiones, preferentemente cercanas a la provincia de Sancti Spíritus.

La caracterización del proceso productivo se realiza mediante el diagrama de flujo, se fundamenta en el análisis de los referentes internacionales a través del benchmarking.

2.1.4. Etapa II: Análisis de los factores críticos claves por etapas del proceso.

- Para la definición preliminar de las características tecnológicas se utilizan criterios de la literatura científica especializada, manuales de operación de la industria y estudios referentes. La selección de las características la realizan los expertos. Las características se clasifican como Variables de entrada (VE), Parámetros de proceso (Pp) y Variables de salida (VS).
- El análisis de las relaciones entre las características tecnológicas se realiza por etapas, a partir de la obtención de la opinión de los expertos sobre el grado de relación entre variables de entrada (VE), parámetros de proceso (Pp), variables de salida (VS); de esta forma se operacionaliza la concepción cliente-proveedor (Gómez Avilés, 2006).

Se realizan los pasos siguientes:

Las opiniones sobre el grado de la relación, por pares de características, se colocan en el cuerpo de cada matriz, a través de una escala numérica (Figura 2.3).

Etapa “z” del proceso industrial						
Variables de Entrada VE_i	Matriz del grado de la relación promedio entre características \bar{R}_{ij}					
	Parámetros de proceso Pp_j			Variables de Salida VS_j		
	Pp_1		Pp_n	VS_1		VS_p
VE_1	\bar{R}_{11}	.....	\bar{R}_{1n}	.....	.....	\bar{R}_{1p}
.	.	\bar{R}_{ij}	.	.	\bar{R}_{ij}	.
VE_m	\bar{R}_{m1}	.....	\bar{R}_{mn}	.....	.....	\bar{R}_{mp}

Figura 2.3 Matriz del grado de la relación promedio entre características tecnológicas. Información de entrada para el SPSS. Fuente: (Gómez-Avilés; Marrero-Delgado, 2010).

Importante tener en cuenta que el grado de la relación entre las características que se analizan, está sujeto a cambios en las calidades exigidas, por lo que se presentan situaciones como las siguientes:

- ante cambios en las calidades del producto final (requerimientos de diferentes clientes), los Pp requieran de diferentes grados de relación;
- ante la conversión del subproducto de una etapa en producto final, implica una mayor importancia para los Pp de esa etapa del proceso y de esta respecto a las restantes etapas del proceso;
- la variabilidad en las características de calidad de la materia prima o materiales utilizados, que requiere diferentes márgenes de operación o grados de la relación en los Pp, para cumplir con las exigencias de las VS, implica reevaluar las relaciones definidas (para un mismo producto final), pero que ahora presentan otras condiciones de entrada, principalmente en las primeras etapas del proceso industrial (H. B. Gómez Avilés, 2006b).

❖ Escala numérica a utilizar.

La argumentación de la escala seleccionada parte de lo definido por Zanazzi (2016) para el intercambio de conocimientos y experiencias sobre el consenso según:

- *La capacidad de discriminación* de los expertos no es muy amplia, pertenecen a un proceso con madurez tecnológica. El número de categorías se define entre 3 ó 4.
- La discriminación de los expertos determina también el establecimiento de *la distancia entre valores* de la escala; se asume que la distancia entre categorías de relaciones de: Fuerte (3); Media (2); Débil (1) y No existe (0).
- Se utiliza una *semántica* sencilla, similar a los términos utilizados cotidianamente por los expertos para facilitar su comprensión rápida, esto es, una relación Fuerte, Media, Débil y No existe. La semántica propuesta, posibilita al experto ubicar las *distintas variantes* que se presentan en el proceso.

En la revisión de la información que ofrecen los expertos puede suceder que:

- alguna fila (VE) sin relación; situación provocada porque ningún Pp, actúa sobre la VE, o la VE no tiene implicación en las VS, por lo que se evalúa si es necesario colocar otra columna que le dé respuesta, a la relevancia de la producción que se ejecuta en

la etapa considerada, o de lo contrario se excluye la VE, mientras se mantengan estas condiciones;

- alguna columna Pp o VS está sin relación, se analiza, si es un Pp que no decide, o es una VS que no responde a ninguna VE; se elimina de la matriz, para las condiciones que se analizan.

❖ Determinación del consenso entre las opiniones

Para la determinación del consenso entre las opiniones de los expertos en esta investigación, se tomó como base la propuesta realizada por Gómez Avilés (2006), según la Expresión 2.2 de Abreu-Ledón (2004).

$$IC_{ij} = \left(1 - \frac{S_{ij}}{S_L}\right) * 100\% \quad \text{Expresión 2.2}$$

IC_{ij}: Índice de Consenso entre los expertos respecto al grado de la relación entre la característica VE «i» de la etapa «z» con el Pp_j o VS_j.

S_L: Desviación estándar máxima posible (ver Tabla 2.1).

S_{ij}: Desviación estándar de la opinión de los expertos respecto al grado de la relación entre la característica VE «i» de la etapa «z» con el Pp_j o VS_j.

Tabla 2.1 Valores de la desviación estándar máxima posible para el análisis del grado de la relación entre VE - Pp - VS.

n _e	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S _L	1,604	1,604	1,581	1,581	1,567	1,567	1,557	1,557	1,549

Se define como límite inferior para este índice de consenso un 76%, para cada relación VE-Pp; VE- VS; a partir de la escala que se definió. Según este valor, se toma el promedio de las opiniones emitidas por los expertos, para determinar el grado de la relación entre las características VE- Pp; VE- VS; en cada una de las etapas del proceso en estudio. Para valores de consenso menores de 76%, se realiza una nueva selección de expertos o la redefinición de características, según se considere, de acuerdo a la valoración que se realice de la información procesada (H. B. Gómez Avilés, 2006b).

- La clasificación por grupos de las VE, Pp, VS se realiza se establece a partir de clases que agrupan las características tecnológicas. Estas clases se obtienen aplicando el procedimiento estadístico del Análisis de Clúster Jerárquico, se extraen los factores que identifican estructuras y dimensiones, a partir de las matrices de distancias o proximidades.

El propósito de la investigación está dirigido sólo a obtener el grado de asociación entre grupos de características, por lo que esta herramienta resulta apropiada para clasificar las variables (características) en función de su nivel de semejanza, dada su naturaleza descriptiva.

Se tomarán las opiniones de los expertos, para el cálculo de la matriz del grado de la relación promedio entre características (R_{ij}) (ver Figura 2.4), solo si el Índice de consenso es mayor que el 76%; (Expresión 2.3) donde:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_e} R_{ijk}}{n_e} \quad \text{Expresión 2.3}$$

Donde

R_{ij} : grado de la relación promedio entre características: VE “i” con el Pp “j” o la VS “j”

R_{ijk} : grado de la relación entre características VE “i” con el Pp “j” o la VS “j” dado por el experto k.

n_e : cantidad de expertos

La matriz se lleva al *SPSS* u otro *software* estadístico que permita el análisis clúster jerárquico, para obtener los grupos de clasificación:

Por casos:

Por variables:

(I) V_e Con relación P_p	(III) P_p
(II) V_e Con relación a las V_s	(IV) V_s

2.1.5. Etapa III: Evaluación de la criticidad.

La evaluación de la criticidad consiste en el otorgamiento de prioridades a los grupos de clasificación, resultado de la etapa anterior. A cada uno de estos grupos, conformado por las características tecnológicas semejantes según el grado de relación por etapas, se le otorga un peso relativo y se normalizan para obtener el nivel de prioridad.

- Determinación de la prioridad por grupos de variables.

Se realiza mediante el procedimiento propuesto por Romero-Casillas y Pomerol-J (1997) (ver Tabla 2.2) que responde a la Expresión (2.4).

$$V_i = \frac{a_i}{\sum a_j} \quad \text{Expresión (2.4)}$$

Tabla 2.2 Normalización del grado de la relación promedio por grupos de clasificación.

Grupos de clasificación por características tecnológicas	Grado de la relación promedio por grupos de clasificación	Normalización del grado de relación promedio por grupos
$(V_e - \text{respecto a } P_p)_1$	\bar{Y}_1	$v_1 = \frac{\bar{Y}_1}{\sum_h \bar{Y}_h} ; h=1, \dots, H$
$(V_e - \text{respecto a } P_p) \text{ grupo } H$	\bar{Y}_H	$V_H = \frac{\bar{Y}_H}{\sum_h \bar{Y}_h}$
		$\Sigma v_h = 1$
$(V_e - \text{respecto a } V_s)_1$	\bar{Y}_1	$v_1 = \frac{\bar{Y}_1}{\sum_{\tilde{n}} \bar{Y}_{\tilde{n}}} ; \tilde{n}=1, \dots, \tilde{N}$
$(V_e - \text{respecto a } V_s) \text{ grupo } \tilde{N}$	$\bar{Y}_{\tilde{N}}$	$V_{\tilde{N}} = \frac{\bar{Y}_{\tilde{N}}}{\sum_{\tilde{n}} \bar{Y}_{\tilde{n}}}$
		$\Sigma v_{\tilde{n}} = 1$
P_{p1}	\bar{Y}_1	$v_1 = \frac{\bar{Y}_1}{\sum_c \bar{Y}_c} ; c=1, \dots, C$
$P_{p1} \text{ grupo } C$	\bar{Y}_C	$V_C = \frac{\bar{Y}_C}{\sum_c \bar{Y}_c}$
		$\Sigma v_c = 1$

V_{s1}	\bar{Y}_1	$v_1 = \frac{\bar{Y}_1}{\sum_d \bar{Y}_d}; d=1, \dots, D$
V_s grupo D	\bar{Y}_D	$V_1 = \frac{\bar{Y}_D}{\sum_d \bar{Y}_d}$
		$\Sigma V_d = 1$

Fuente: (Gómez-Avilés, 2006)

Dónde:

$$\bar{Y}_{ij} = \sum_{k=1}^{n_e} \sum_{i=1}^x R_{ij} \forall j$$

Expresión (2.5)

Y_j : grado de la relación promedio de la variable j .

n_e : cantidad de expertos

x : cantidad de características VE "i" en el grupo.

i : características VE "i" relacionada con Pp "j" y VS "j"

Para ello se muestra un ejemplo utilizando el grupo H a partir de la Expresión 2.6:

Los h grupos de VE en función del grado de la relación promedio con los parámetros de proceso P_p ; (VE- respecto a P_p);

$$\bar{Y}_h = \frac{\sum_j \bar{Y}_j}{nh} \quad \forall j \in \text{al grupo } h; h=1, \dots, H; H: \text{cantidad de grupos de este tipo} \quad \text{Expresión 2.6}$$

Normalizar el grado de la relación promedio por grupos, constituye el balance de las opiniones múltiples y permite evaluar la criticidad de las características tecnológicas en el proceso objeto de estudio.

- Estrategia para la planificación operativa de la calidad

Los grupos cuyos valores normalizados tienen mayor peso se consideran de alta prioridad, por tanto, se definen como críticos en la estrategia de planificación operativa de calidad para producir ladrillos altamente aislantes en la industria cubana. Durante la concepción operativa,

se analizan los sistemas de predominio que según Juran (2001), determina los controles de proceso necesarios para cumplir con los requerimientos para su adecuación al uso, y con ello la calidad del producto.

2.2. Conclusiones parciales.

1. A través de la caracterización de las etapas propuestas, se realiza un análisis con enfoque de proceso basado en las relaciones cliente-proveedor el cual garantiza, con una concepción desde el diseño, el cumplimiento de requisitos establecidos para producir ladrillos altamente aislantes.
2. La definición de los grupos de clasificación por variables, así como el establecimiento del orden de prioridad por grupos permiten la evaluación de características tecnológicas críticas para la planificación operativa de calidad del proceso objeto de estudio.
3. Con la evaluación de las características críticas se obtiene la variable o factor «dominante» que contribuye a la administración y planificación de calidad, a la vez que garantiza una efectiva localización y asignación de recursos y prioridades para el cumplimiento de los requisitos de conformidad del producto.

Capítulo 3: Evaluación de características críticas de calidad del proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes para el escenario cubano.

En el presente capítulo se aplica el procedimiento propuesto para la evaluación de las características críticas de calidad del proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes acorde a las condiciones de operación del entorno cubano. Los resultados de la valoración permiten otorgar un nivel de criticidad para el establecimiento de la estrategia de planificación operativa de la calidad, cuestión indispensable en el desarrollo e innovación de nuevos productos, como el caso objeto de estudio en la presente investigación.

3.1 Descripción de las etapas de trabajo propuestas para la evaluación de las características tecnológicas.

Para lograr la aplicación del procedimiento propuesto se desarrollan las etapas mencionadas en el capítulo anterior, donde se definen grupos de variables por el grado de relación por etapas del proceso industrial, a partir del criterio emitido por los expertos. Una vez clasificadas y establecido el orden de prioridad para el control, se define la estrategia para la planificación operativa de la calidad del proceso.

3.1.1 Etapa Previa

Para la creación del grupo de expertos fueron seleccionados especialistas de la rama industrial del ladrillo, investigadores del contexto nacional e internacional relacionados con el sector constructivo, la eficiencia energética y el desarrollo de materiales de construcción, arquitectos y docentes del área de procesos. En esta etapa se diseñaron además los modelos para la obtención de la información.

3.1.1.1 Número de expertos y selección

Para la conformación del equipo de trabajo se realiza el cálculo del número de expertos según la expresión 2.1. Se asumió un nivel de confianza del 95%, lo que implica un valor para la constante asociada de $k= 3,8416$. El nivel de precisión deseado fue de $i= 0,1$ y una proporción estimada de errores $p= 0,02$. La cantidad necesaria es de 8 expertos (Ver Anexo 2).

Para la selección se aplicó el Método de Hurtado de Mendoza (2003), teniendo en cuenta los conocimientos específicos, visibilidad científica en el área de estudio y los años de

experiencia en el sector constructivo (Ver Anexos del 3 al 7). El listado se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Miembros que conforman el equipo de expertos.

No.	Nombre y apellidos	Especialidad/Área
1	Arq. Luis Alberto Rueda Guzmán	Profesor investigador
2	Dr. Osvaldo Romero Romero	Profesor investigador
3	Dra. Bismayda Gómez Avilés	Profesor investigador
4	Noel Cardoso Núñez	Director Industria
5	Jesús Hernández Montes	Especialista
6	Prof. Kracmar Ftizsul PhD	Investigador
7	Dr. José Fernando Martirena	Investigador
8	Arq. Leonardo Pizarro Zulueta	Arquitecto proyectista

Fuente: Elaboración propia de la autora.

3.1.1.2 Diseño del sistema de información y preparación del equipo.

Se realizó la preparación del grupo evaluador, el entrenamiento incluyó:

- los elementos del QFD, y del PDM a utilizar para establecer las relaciones cliente proveedor;
- estudio de las normativas para la ejecución de construcciones de energía cero;
- estudio de los manuales y normas para la fabricación de ladrillos;
- el análisis del modelo para la obtención de la información.

El intercambio se realizó a través de técnicas de trabajo en pequeños grupos con el mínimo de interacción, de manera que la opinión de cada especialista no se impone ante diversidad de criterios a favor del libre disenso.

3.1.2 Etapa I: Definición del contexto operacional.

3.1.2.1 Identificación de los requisitos legales

Normas que regulan la producción de ladrillos en el contexto cubano

- NC 360:2005 Ladrillos cerámicos de arcilla cocida - Requisitos.
- NC 367:2005 Cerámica -Términos y definiciones.

- NC 359:2005 Ladrillos y bloques cerámicos de arcilla cocida - Métodos de ensayo.

3.1.2.2 Definición del entorno de trabajo.

En la actualidad el país cuenta con 372 yacimientos comprobados y 719 prospectos, que son sitios con las condiciones requeridas para convertirse en yacimientos por la cantidad y nivel de concentración o ley del mineral.

La descripción del proceso de fabricación de ladrillos con características altamente aislantes se muestra en el Anexo 8. En este, las etapas de secado y cocción determinan la calidad del producto, sin embargo, esta autora considera que el análisis de la etapa de mezclado-moldeo, resultan de vital importancia en el cumplimiento de los requisitos para este tipo de productos, dado que las características de la arcilla determinan las condiciones de operación

La clasificación de las arcillas está dada por:

- Caolín o arcilla china
- Arcillas plásticas
- Arcillas refractarias
- Arcillas para barro cocidas entre otras.

Para la fabricación de ladrillos altamente aislantes, la plasticidad constituye una característica importante, la cual depende del entorno de trabajo, debido a las características del yacimiento. Las arcillas plásticas hacen pasta con el agua y se convierten en moldeables, mientras que las refractarias, al resistir altas temperaturas hasta un punto de fusión por encima de los 1100 grados, también resultan de tipo más adecuado para satisfacer las necesidades de este proceso.

Específicamente en la provincia de Sancti Spíritus, en el municipio de Cabaiguán, está ubicado el yacimiento La Pachanga. En el yacimiento tenemos: 37 % de arcilla plástica, 61.5 % de arcilla muy plástica y 1.5 % de arcilla poco plástica que pueden ser usadas en la producción de artículos de cerámica roja para materiales de construcción, tales como ladrillos huecos y macizos. En el caso de las arcillas plásticas y poco plásticas, pueden utilizarse además en la fabricación de lozas de azoteas las arcillas.

3.1.3 Etapa II: Análisis de los factores claves por etapas del proceso.

3.1.3.1 Definición preliminar de las características tecnológicas.

La definición se realiza a partir del estudio del proceso y los principales referentes; los expertos listan las características tecnológicas seleccionadas por cada etapa del proceso, los resultados se muestran en las Tablas 3.2; 3.3 y 3.4:

Tabla 3.2 Características tecnológicas de la etapa de mezclado.

Variables de entrada	Parámetros proceso	Variable de salida
Agente de porosidad	% Humedad mezcla	Plasticidad
Granulometría	tiempo envejecimiento	Volumen
Superficie específica	Impurezas	% Humedad pastilla
Impurezas	Densidad	Uniformidad

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 3.3 Características tecnológicas de la etapa de secado.

Variables de entrada	Parámetros proceso	Variable de salida
Masa húmeda ladrillo	Tiempo de secado	Porosidad
% Humedad ladrillo	Temperatura de secado	Transferencia masa H-S
Composición de la mezcla	Distribución térmica	%Absorción
Tecnología para secado	% Humedad relativa	% Humedad ladrillo

Tipología/Geometría

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 3.4 Características tecnológicas de la etapa de quema o cocción.

Variables de entrada	Parámetros proceso	Variable de salida
Masa H-S	Tiempo de cocción	% Resistencia
% Humedad ladrillo	Temperatura cocción	Aislamiento térmico
Tecnología para cocción (combustible/horno)	Distribución térmica	Planeidad
%Absorción inicial	Transferencia masa H-S	%Absorción
Porosidad		
Tipología/Geometría		

Fuente: Elaboración propia del autor.

3.1.3.2 Análisis de las relaciones entre las características tecnológicas.

El análisis se realiza a partir de la clasificación de las características tecnológicas en grupos de variables. Cada experto ofrece su criterio sobre el grado de la relación entre características tecnológicas para las etapas de mezcla-moldeo, secado y cocción. Las opiniones se colocan en el cuerpo de cada matriz, a través de la escala numérica definida, los resultados se muestran en la tabla 3.5, 3.6 y 3.7

Tabla 3.5 Criterio sobre el grado de la relación entre características tecnológicas

Mezcla- Moldeo (1)	Parámetros proceso				Variable de salida			
	Variables de entrada	% Humedad mezcla	tiempo envejecimiento	Impurezas	Densidad	Plasticidad	Volumen	% Humedad pastilla	Uniformidad
Agente de porosidad	1,43	1,86	2,29	2,71	2,71	1,71	2,29	2,00
Granulometría	2,57	1,71	1,29	2,71	2,57	1,29	2,29	2,86
Superficie específica	2,57	2,71	1,00	2,43	3,00	1,86	2,71	2,86
Impurezas	0,29	1,00	2,86	1,14	2,43	0,86	0,57	2,86

Tabla 3.6 Criterio sobre el grado de la relación entre características tecnológicas

SECADO (mean)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de secado	Temperatura secado	Distribución térmica	% Humedad relativa	Porosidad	Transferencia masa H-S	%Absorción	% Humedad ladrillo
Masa húmeda ladrillo	1,71	1,71	2,00	2,29	2,00	3,00	2,00	2,43
% Humedad ladrillo	2,86	3,00	2,29	3,00	2,00	3,00	1,71	3,00
Composición de la mezcla	2,71	2,86	2,14	1,86	3,00	2,14	2,86	2,57
Tecnología para secado (combustible/horno)	2,86	2,57	2,71	2,29	3,00	2,86	1,57	2,71
Tipología/Geometría	1,71	2,29	2,14	1,43	2,43	2,14	1,86	1,00

Tabla 3.7 Criterio sobre el grado de la relación entre características tecnológicas

COCCION (mean)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de cocción	Temperatura cocción	Distribución térmica	Transferencia masa H-S	% Resistencia	Aislamiento térmico	Planeidad	%Absorción
Masa H-S	2,00	2,14	2,43	3,00	1,71	1,57	1,57	3,00
% Humedad ladrillo	2,71	2,71	2,57	2,71	2,00	1,86	1,43	1,71
Tecnología para cocción (combustible/horno)	3,00	2,86	2,71	2,43	3,00	2,71	1,86	1,71
%Absorción inicial	1,29	1,71	1,29	2,00	1,71	1,71	1,43	3,00
Porosidad	2,57	2,71	1,86	1,71	3,00	3,00	2,57	1,86
Tipología/Geometría	1,71	2,57	2,29	1,57	2,71	3,00	1,71	1,43

Para la determinación del consenso entre las opiniones se calcula el Índice de Consenso a cada relación VE-Pp; VE-VS por la Expresión 2.2. La validación del consenso existe debido a que IC_{ij} alcanza valores mayores que 76% (Anexo 9).

A la matriz del grado de la relación promedio entre características de las etapas analizadas, se le aplica el análisis clúster jerárquico, para obtener los grupos de clasificación de las VE, Pp y VS. El corte en el dendrograma se realiza en el nivel 10 en correspondencia a la tecnología instalada. Se obtienen los conglomerados que representan cada grupo de clasificación, utilizando el Clúster Jerárquico a partir del SPSS (versión 25.0) que analiza:

- a. por casos: (1) VE con relación a los VS y (2) VE con relación Pp;
- b. por variables: (3) Pp y (4) VS.

La etapa de mezcla representa una de las etapas determinantes en el cumplimiento de los estándares de calidad, representa la primera transformación de la materia prima, por lo que las variables de salida de esta etapa definen el comportamiento futuro del control del proceso. La Figura 3.1 muestra las salidas del SPSS con el dendrograma para la formación de los grupos.

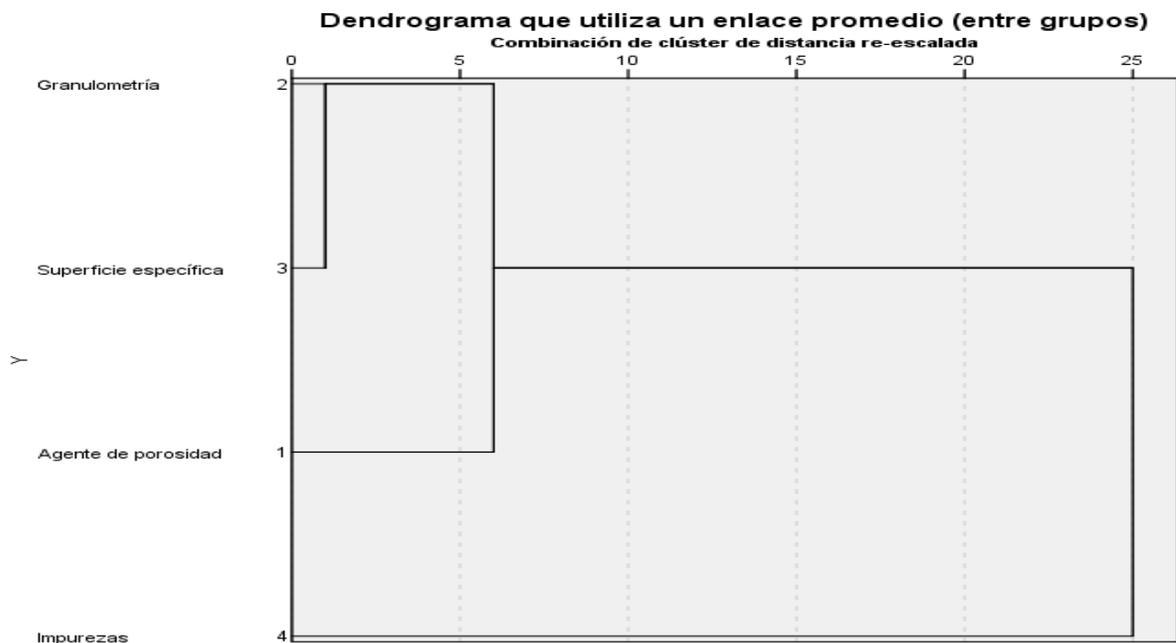


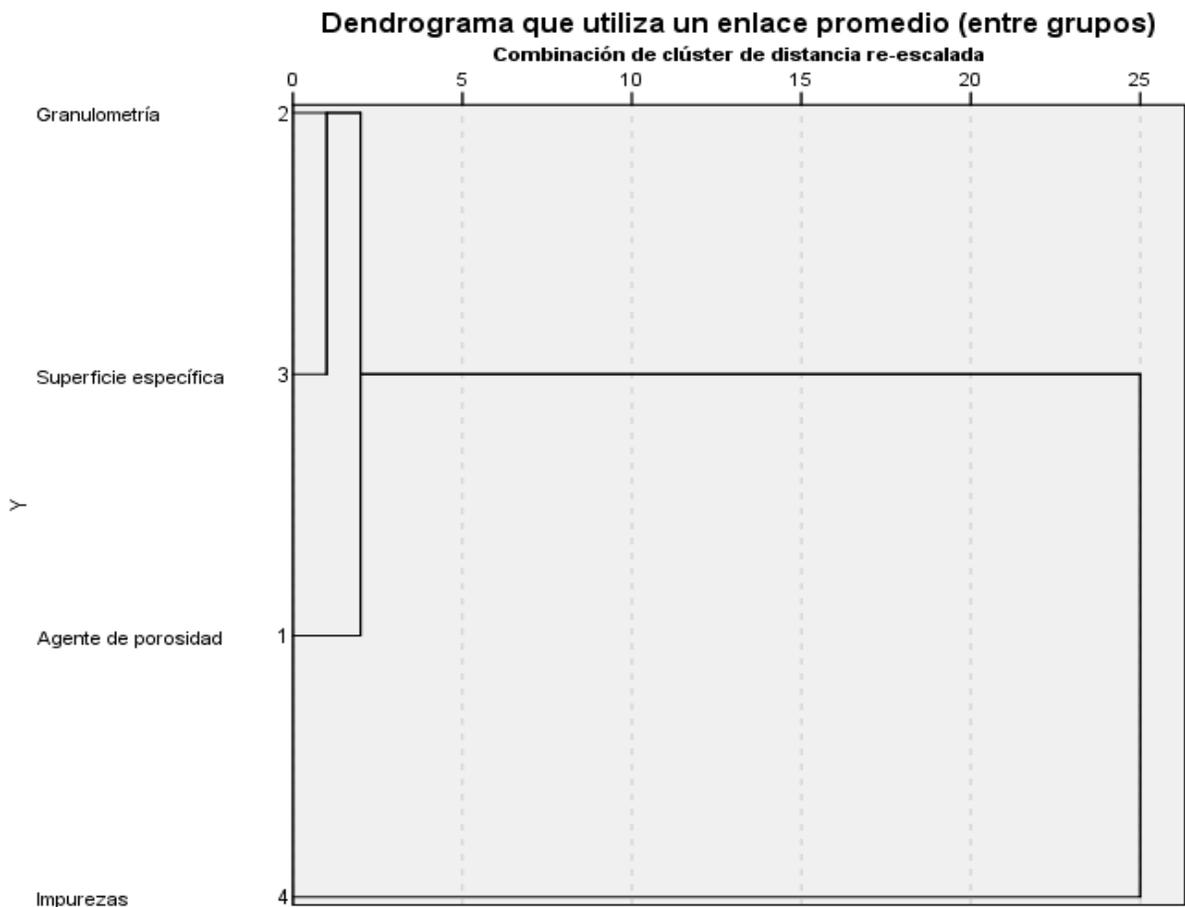
Figura 3. 1 Dendrograma para los grupos de clasificación de VE-Pp a) y VE-VS. Fuente: SPSS.

En el análisis de las relaciones de las VE con los Pp y las VS se forman dos grupos de clasificación:

- Grupo I: Gr-AP-Se
- Grupo II: Impurezas (I)

Para ambos casos se forman idénticos grupos, sin embargo, la formación de estos no se realiza en igual nivel. Al agruparse en un nivel más alto las VS, evidencian que las VE en particular las del grupo (1) son variables que experimentan mejoras durante la operación del proceso, para cumplimentar los requisitos de las VS.

En la Figura 3.2, los Pp forman dos grupos (1) Densidad- tiempo de envejecimiento- Humedad de la mezcla e (2) Impurezas, lo que demuestra que ambos dependen de la tecnología instalada y de las características conocidas de las VE que se procesan en esta industria.



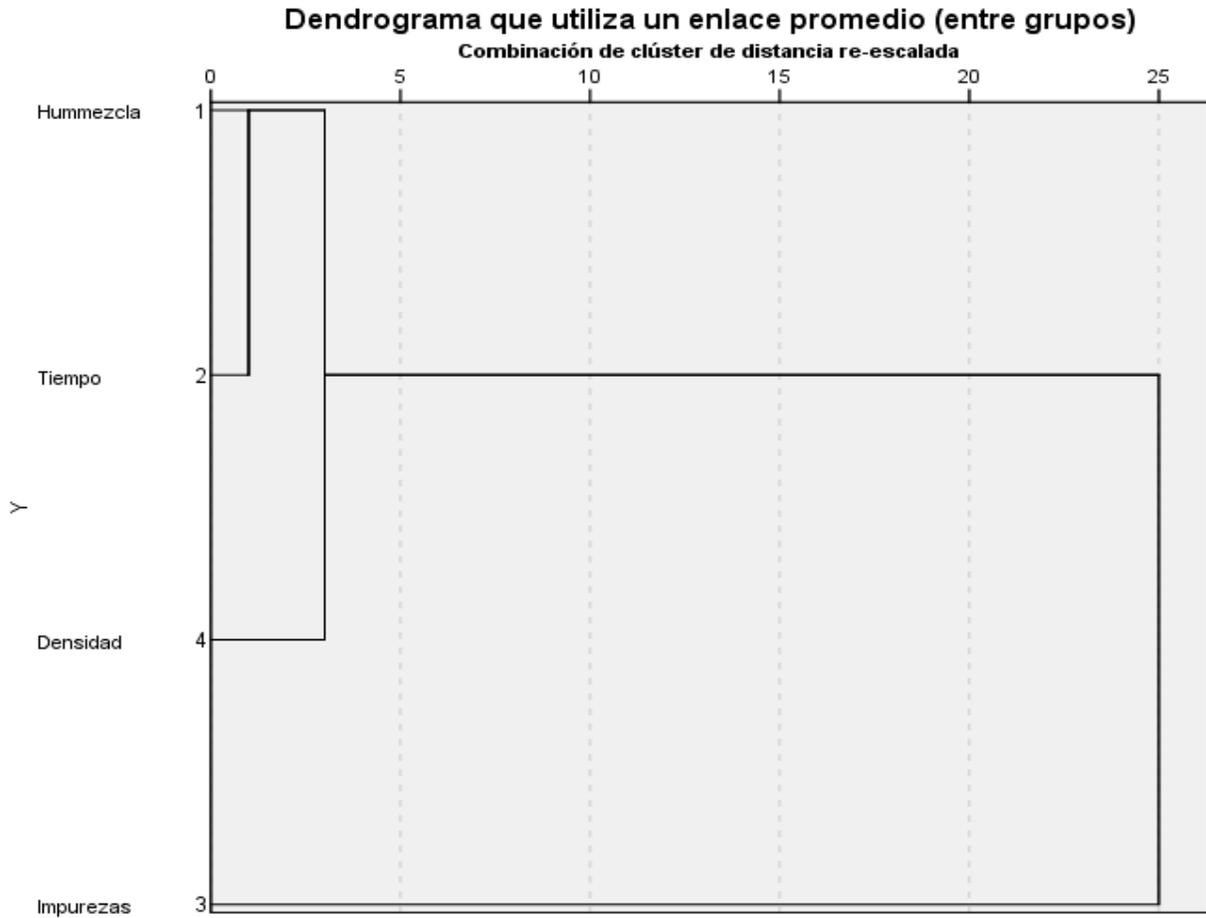


Figura 3. 2 Dendrograma para los grupos de clasificación (Pp y VS). Fuente: SPSS.

Mientras, en la Figura 3.3 el análisis de las VS, parte de la determinación de la conformidad en esta etapa del proceso como entrada a la operación o etapa siguiente, es decir, el secado, por ende, se necesitan estudiar las variables que forman estos grupos:

Grupo 1: Plasticidad (P) -Uniformidad (U)

Grupo 2: Humedad de la pastilla (Hp)-Volumen (V)

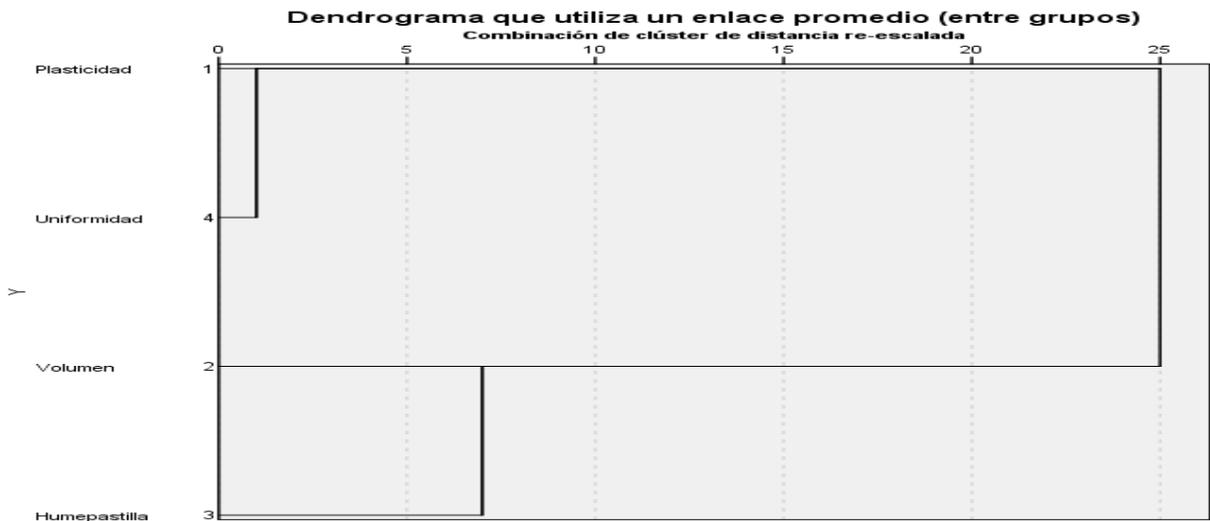


Figura 3. 3 Dendrograma para los grupos de clasificación (VS). Fuente: SPSS.

En la etapa de secado (Figuras 3.4) se forman dos grupos de clasificación, en función de la dependencia entre características, y las condiciones tecnológicas que tiene la industria respecto a la operación.

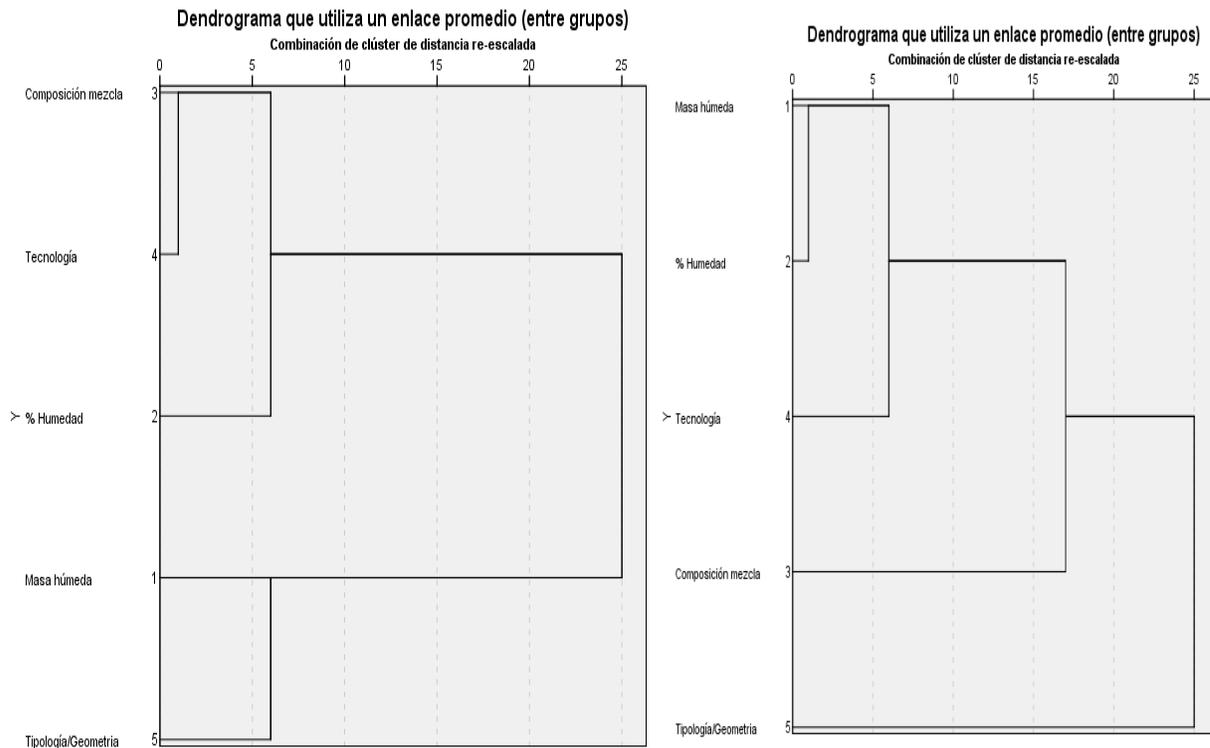


Figura 3. 4 Dendrograma para los grupos de clasificación de VE-Pp a) y VE-VS. Fuente: SPSS.

Los dos grupos conformados en VE-Pp están conformados por:

Grupo I: Tec-H-Cm

Grupo II: MH-TG

Para el caso de los VE-VS se forman tres grupos:

Grupo I: H-MH-Tec

Grupo II: Cm

Grupo III: TG

La figura 3.5 muestra el análisis de los Pp, donde se establecen dos grupos: Temperatura-tiempo (T-t); Humedad relativa (%Hr) y Distribución térmica (Dt), parámetros que deben ser controlados de forma independiente, mientras que para las VS, los grupos están compuestos por la Humedad (H)-Transferencia de Masa Húmeda (TMH) y Porosidad (Pr)-Absorción (%Abs), requisitos importantes en la eficiencia operacional de la etapa de cocción.

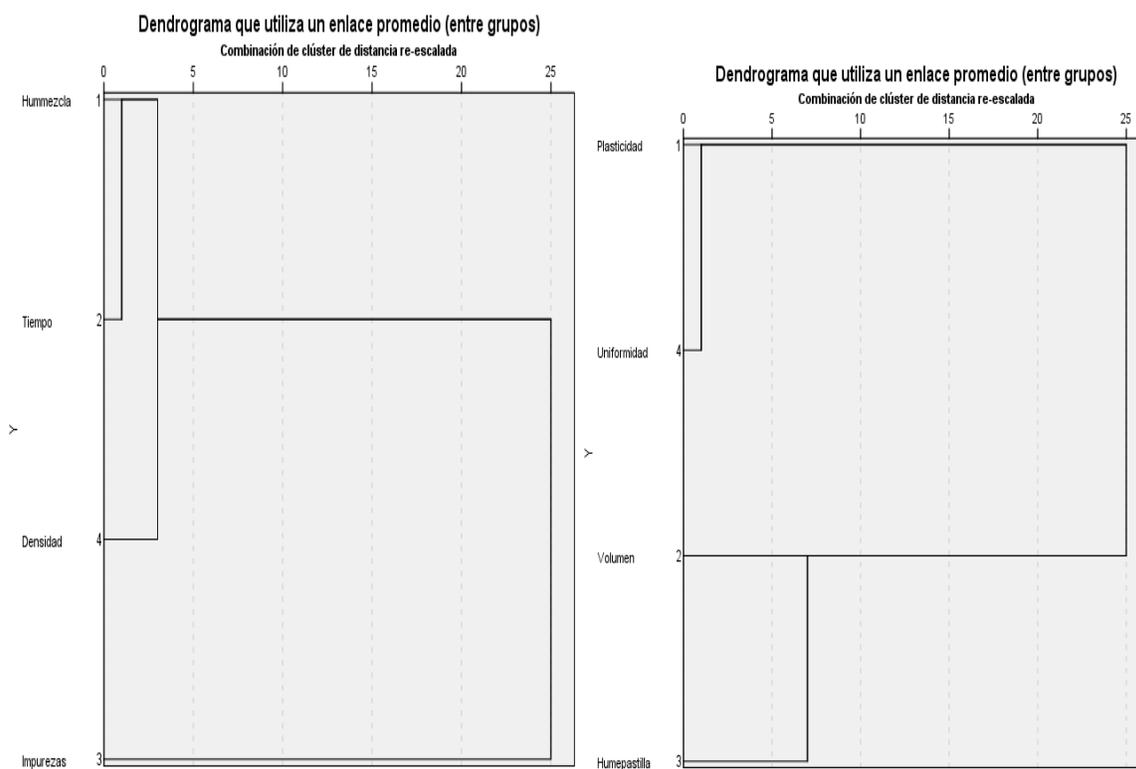


Figura 3. 5 Dendrograma para los grupos de clasificación de Pp y VS. Fuente: SPSS.

Para la etapa de cocción, la Figura 3.6 muestra los grupos de clasificación determinados por los requisitos de entrada a la quema, los cuales dependen de las condiciones de operación de la etapa anterior.

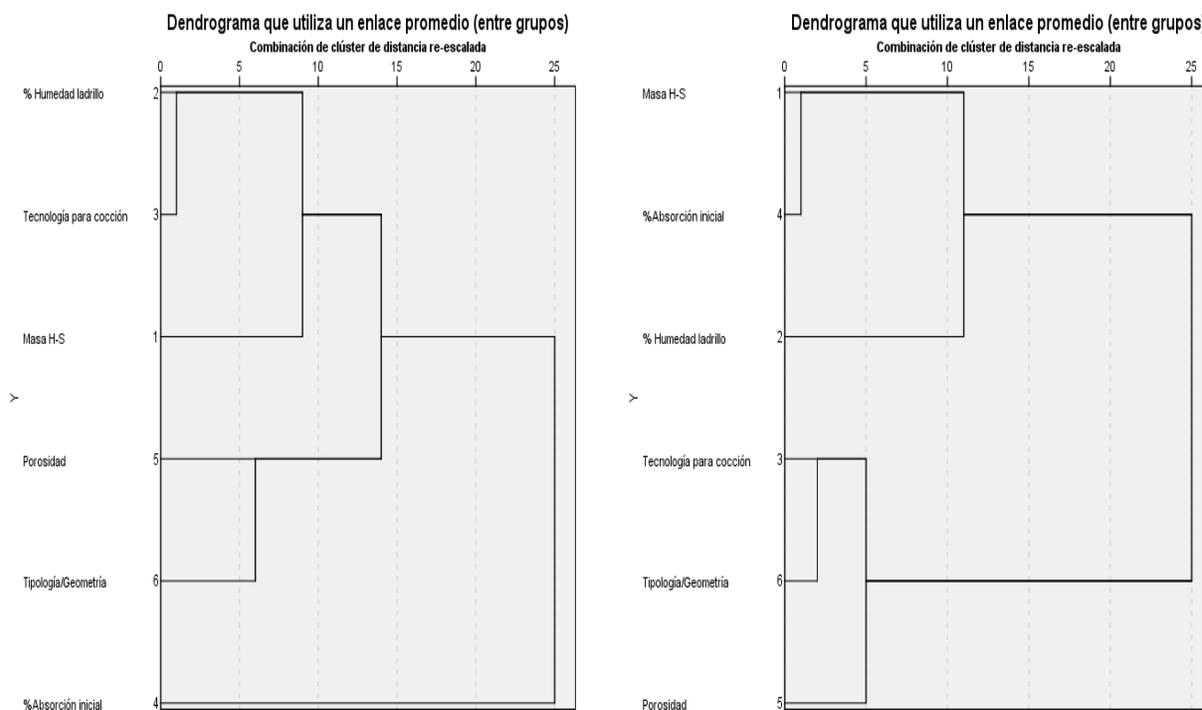


Figura 3. 6 Dendrograma para los grupos de clasificación de VE-Pp y VE-VS. Fuente: SPSS.

Estos grupos son respecto a VE-Pp:

Grupo I: Tec-M-H

Grupo II: TG-P

Grupo III: % Abs

Para los VE-VS dos grupos:

Grupo I: Abs-H-M

Grupo II: Tec-P-TG

En relación a los Pp, se forman dos grupos: mientras que para las VS, los grupos de clasificación de esta etapa responden al cumplimiento de los requisitos de conformidad del producto terminado, es decir, la obtención de ladrillos altamente aislantes. En la Figura 3.7 se muestran los dendrogramas para el análisis por variables.

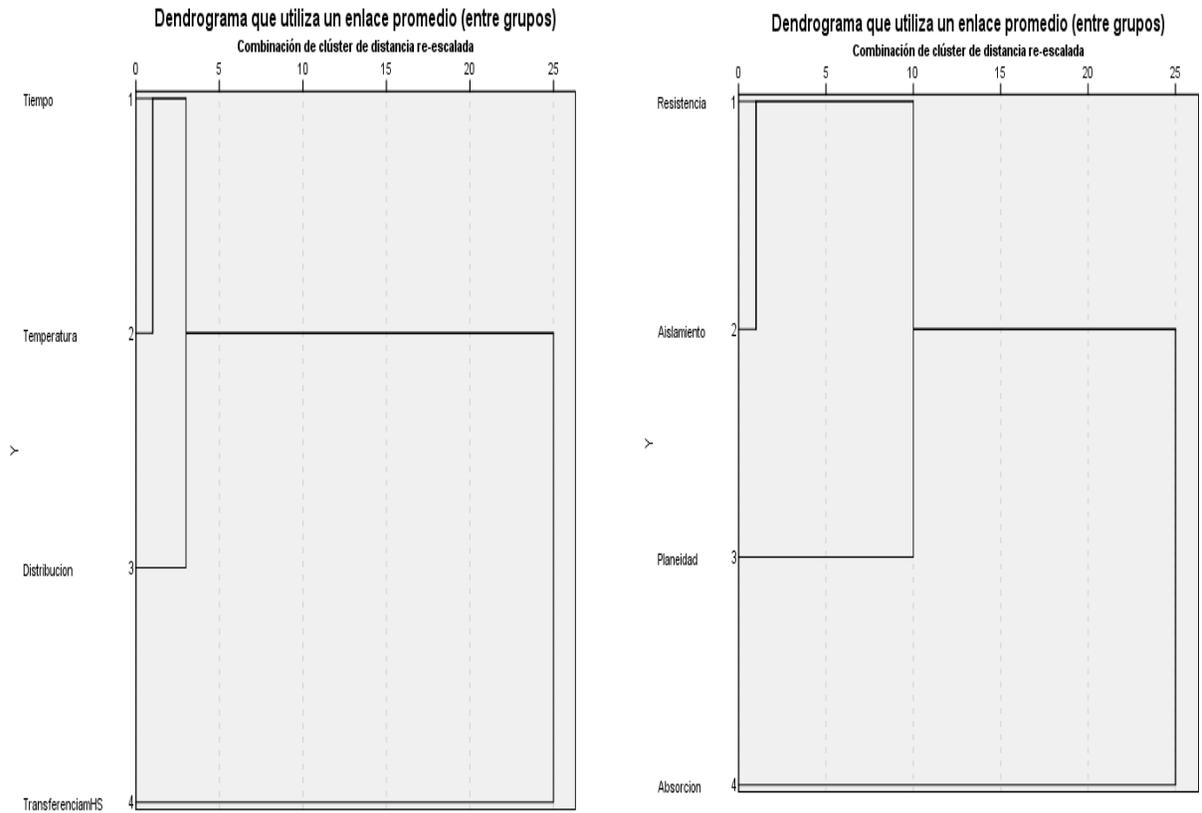


Figura 3. 7 Dendrograma para los grupos de clasificación de Pp y VS. Fuente: SPSS.

Los requisitos de calidad son:

Grupo I: P-A-R

Grupo II: % Abs

3.1.4 Etapa III: Evaluación de la criticidad.

La evaluación parte de establecer el orden de prioridad para cada grupo resultante de la clasificación anterior, de forma que se pueda definir la criticidad. Los grupos con mayor puntuación resultan críticos en el cumplimiento de los requisitos de calidad. De esta forma se obtiene el esquema de control a ejecutar por grupos de prioridad VEij; Ppij; VSij, cuya representación gráfica se muestra en el desarrollo de esta etapa

3.1.4.1 Determinación de la prioridad por grupos de variables.

En la etapa de mezcla-moldeo, la prioridad en el control (Figura 3.8) la alcanza la granulometría, los agentes de porosidad y la superficie específica.

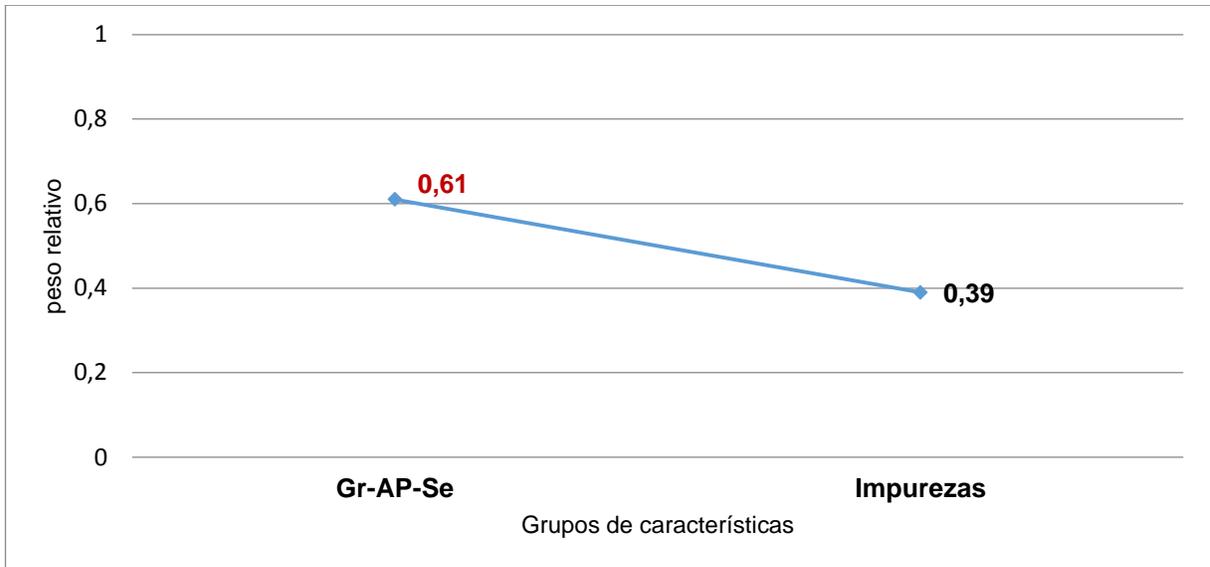


Figura 3. 8 Prioridad por grupos de VE-Pp y VE-VS. Fuente: Elaboración propia de la autora.

En la operación del proceso (Figura 3.9), resulta prioritaria para el control la densidad, el tiempo de envejecimiento y la humedad de la mezcla; mientras que, para la conformidad de la pastilla de arcilla resultante de esta etapa, resultan críticas la uniformidad y la porosidad de la mezcla.

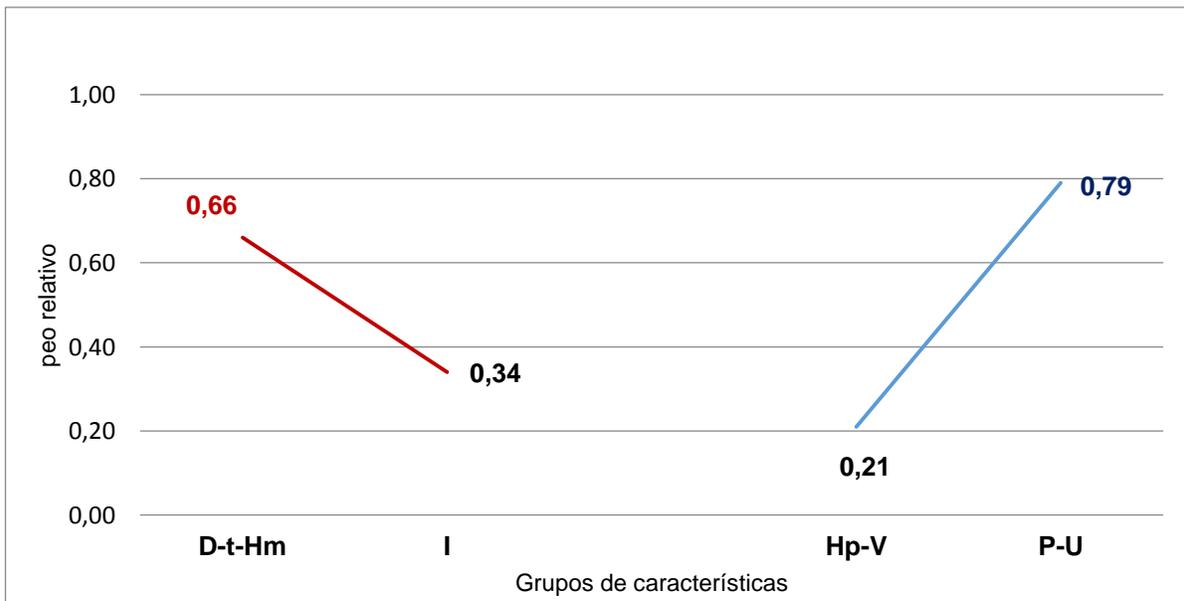


Figura 3. 9 Prioridad por grupos de Pp y VS. Fuente: Elaboración propia de la autora.

La prioridad en el control para la etapa de secado, como se muestra en las Figuras 3.10, es para la Tecnología de Secado, que incluye las características del horno y el tipo de combustible a utilizar, con una relación muy fuerte con la Humedad y la Composición de la mezcla.

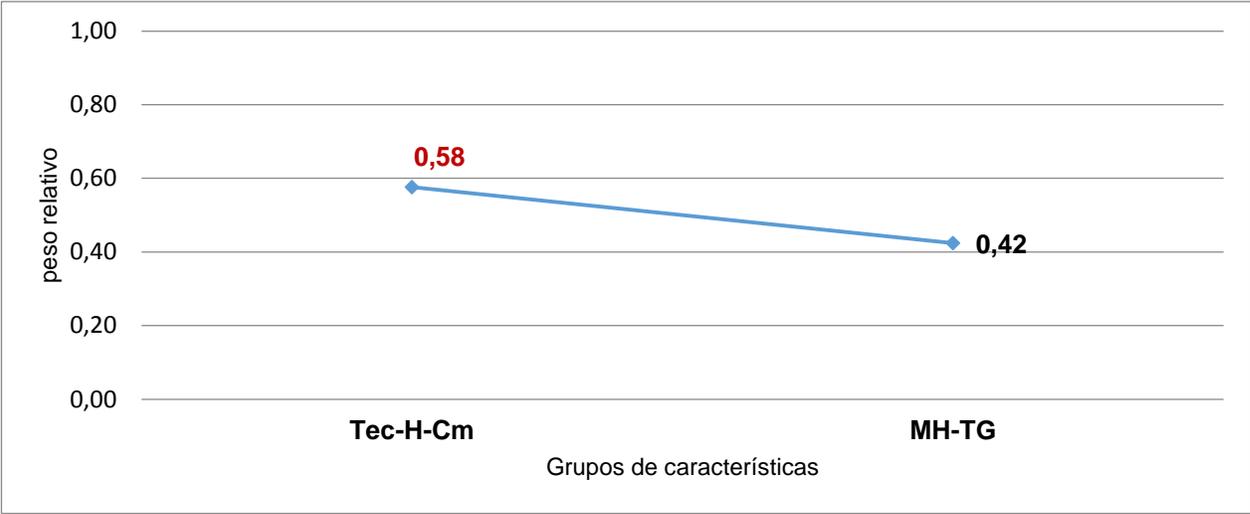


Figura 3.10 Prioridad por grupos de VE-Pp en la etapa de Secado. Fuente: Elaboración propia de la autora.

Por otra parte, la Figuras 3.11 indica que la prioridad en el control de calidad a la salida de la operación es similar a todos los grupos, lo que significa que todas son críticas para el cumplimiento de los requisitos de conformidad.

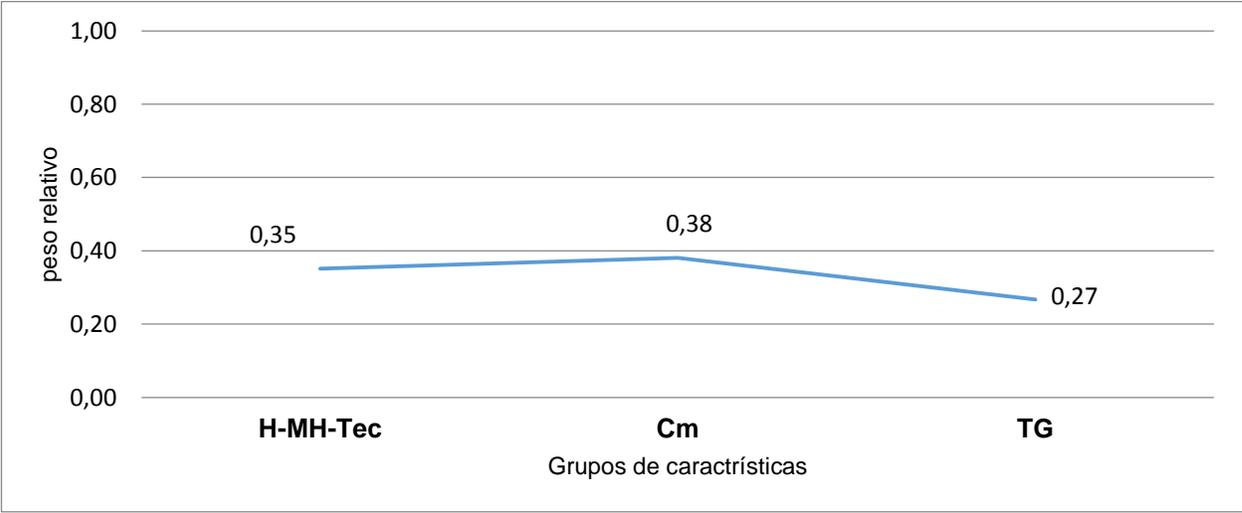


Figura 3.11 Prioridad por grupos de VE-VS en la etapa de Secado. Fuente: Elaboración propia de la autora.

Respecto a las condiciones de operación, todas las características en esta etapa son críticas, puesto que determinan la calidad de salida hacia la etapa final que es la cocción, donde se define la conformidad del producto (Figura 3.12).

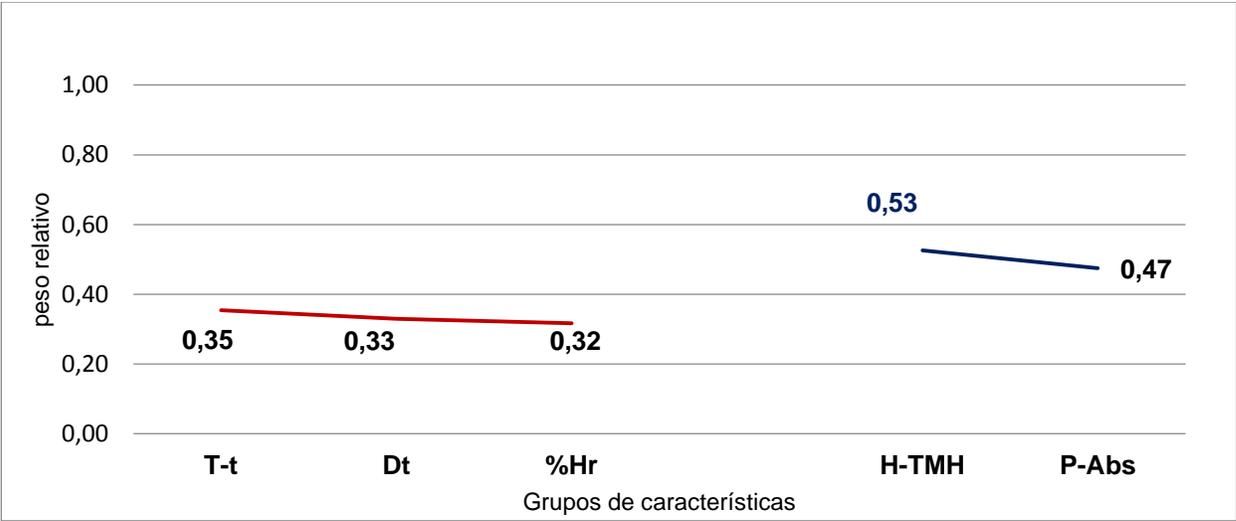


Figura 3.12 Prioridad por grupos de Pp y VS. Fuente: Elaboración propia de la autora.

En la etapa de cocción (Figura 3.13 a 3.15), todas las características son prioritarias para el control de la calidad, se evalúan sin diferencias significativas en el peso debido a la importancia que revierte en la eficiencia operacional del proceso y el cumplimiento de requisitos.

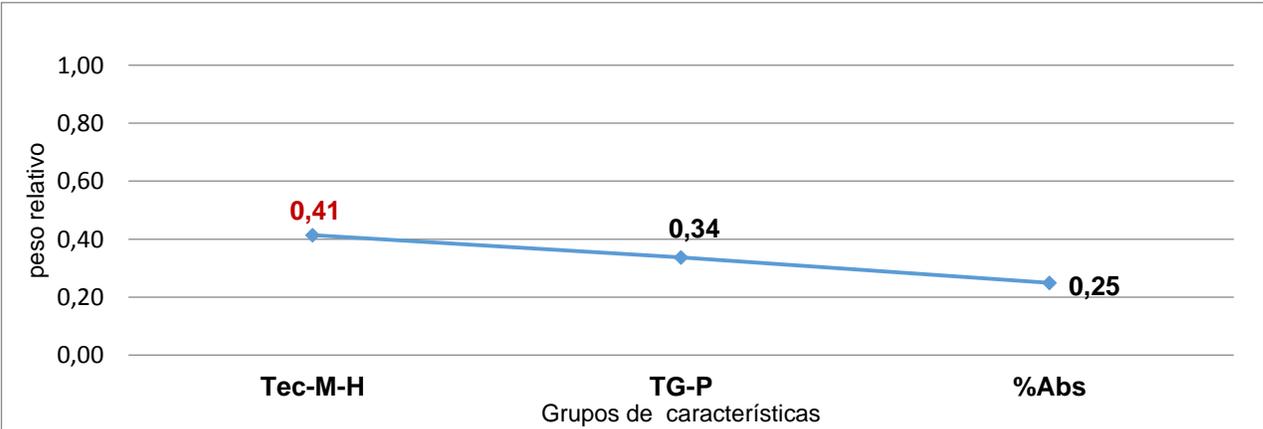


Figura 3.13 Prioridad por grupos de VE-Pp en la etapa de COCCIÓN. Fuente: Elaboración propia de la autora.

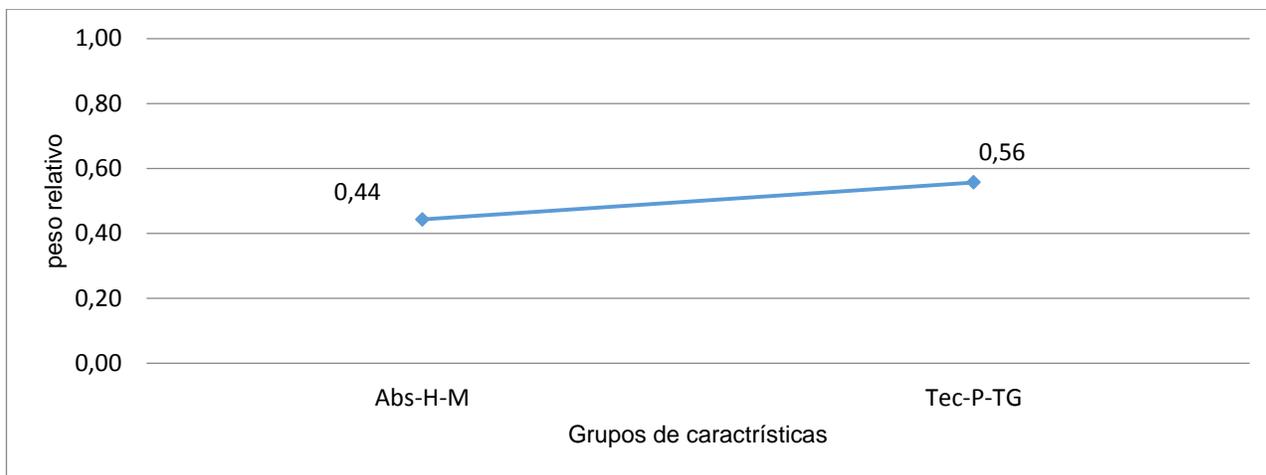


Figura 3.14 Prioridad por grupos de VE-VS en la etapa de COCCIÓN. Fuente: Elaboración propia de la autora.

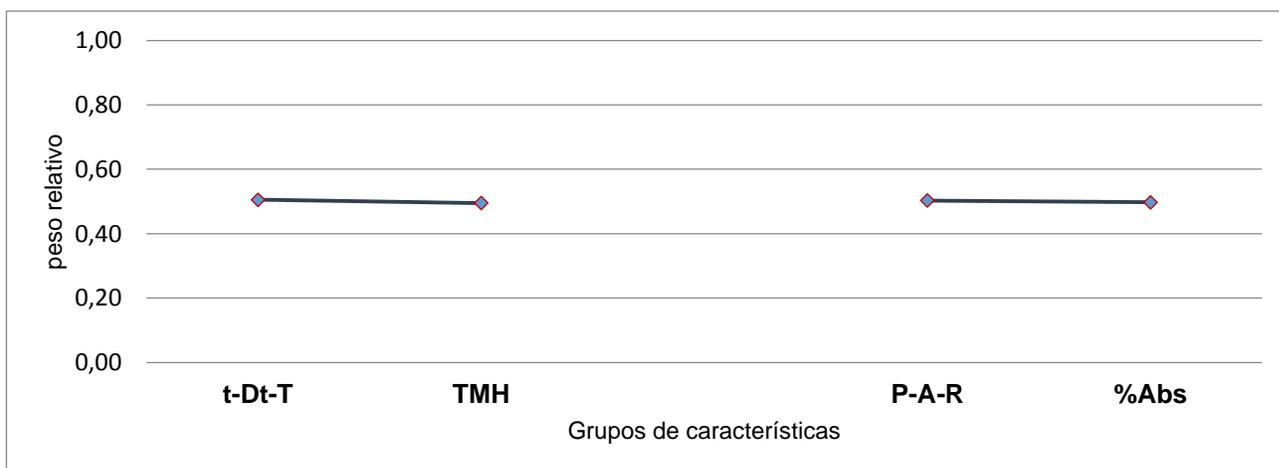


Figura 3.15 Prioridad por grupos de Pp y VS. Fuente: Elaboración propia de la autora.

3.1.4.2 Estrategia para la planificación operativa de la calidad.

A. Control de la arcilla como requisito de calidad a la entrada del proceso.

Las características físicas-mecánicas de la arcilla (granulometría, superficie específica y plasticidad), de acuerdo a la forma en que se elabora este producto, define la eficiencia en las operaciones y repercute en la calidad del ladrillo conformado.

B. Establecimiento de puntos de control de proceso en la operación del proceso.

Se evidencia un proceso con predominio de los componentes (materia prima), donde según (Juran; Gryna, 2001) la prioridad en el control debe estar dirigida a los parámetros que definen la operación (Humedad, Tecnología de secado/cocción,

distribución térmica y transferencia de masa húmeda-seca). En este sentido, se propone establecer un gráfico de control para el seguimiento de la variabilidad de la humedad durante todo el proceso.

C. Definición de requisitos de conformidad producto terminado.

La tecnología utilizada para la generación de calor determina el cumplimiento de los requisitos del producto final, por tanto, la conformidad del producto se logra a partir del control estricto de la operación de las etapas de secado y cocción. El Agente de Porosidad determina el nivel de aislamiento térmico.

3.2 Conclusiones parciales

1. La aplicación del procedimiento propuesto permitió la identificación y clasificación de las características tecnológicas del proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes, su clasificación en grupos de variables según el nivel de relación entre las mismas las relaciones para las condiciones del escenario industrial cubano.
2. A través de la opinión de los expertos se evaluó la prioridad en el control para los grupos de variables definidos, de manera que se pudieron identificar las características críticas de calidad en el proceso objeto de estudio.
3. La determinación de la criticidad en los grupos de variables permitió definir una estrategia para la planificación operativa de la calidad en el proceso, de forma tal que se logren cumplir el estándar superior que demanda la fabricación de este nuevo producto.

Conclusiones generales.

1. El análisis sistemático de los principales referentes relacionados con la gestión de la calidad en procesos industriales contribuyó a la concepción y fundamentación teórica del procedimiento propuesto, demostrando que los nuevos enfoques de calidad desde el diseño y el Paradigma Decisional Multicriterio ofrecen herramientas para garantizar la satisfacción de los requisitos energéticos que demanda el mercado actual de la industria ladrillera.
2. El diseño del procedimiento permitió la identificación y evaluación de características tecnológicas críticas para la calidad, en función de la prioridad de la relación entre grupos de variables, que exige la producción de ladrillos altamente aislantes a partir del análisis del proceso por etapas bajo la concepción cliente-proveedor.
3. Con la aplicación del procedimiento propuesto se clasificaron los grupos de variables (variables de entrada, parámetros de proceso y variables de salida), con un orden jerárquico para definir la prioridad en los esquemas de control y de esta forma evaluar la criticidad de las características tecnológicas a considerar para la planificación operativa de la calidad en el proceso de fabricación de ladrillos altamente aislantes.

Recomendaciones

1. Validar los resultados obtenidos a través de la implementación de herramientas de control en diferentes escenarios productivos del país.
2. Extender la aplicación del procedimiento a otras prácticas de producción de la industria ladrillera para el fortalecimiento de los aportes teóricos y prácticos de la investigación.
3. Exponer los resultados obtenidos a especialistas y decisores en el área de las industrias ladrilleras de forma tal que contribuya al desarrollo e introducción de nuevos materiales de construcción acordes a las exigencias energéticas actuales del sector constructivo.
4. Proponer los diseños de experimentos de mezclas necesarios para encontrar los porcentajes óptimos acorde a las características del escenario productivo cubano.

Bibliografía

- Abela, A., Hoxley, M., McGrath, P., & Goodhew, S. (2016). An investigation of the appropriateness of current methodologies for energy certification of Mediterranean housing. *Energy and Buildings*, 130, 210-218. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.056>
- Ahmadi, R., Souiri, B., & Ebrahimi, M. (2020). Evaluation of wheat straw to insulate fired clay hollow bricks as a construction material. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120043. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120043>
- Annunziata, E. (2013). Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe. *Energy*, 57, 9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.11.049>
- Antón Rodríguez, S. (2021, agosto 23). ¿Cómo marchan las construcciones en medio de la pandemia y la intensificación del bloqueo? Embajadas y Consulados de Cuba. <https://misiones.cubaminrex.cu/es/articulo/como-marchan-las-construcciones-en-medio-de-la-pandemia-y-la-intensificacion-del-bloqueo>
- Baek, C.-H., & Park, S.-H. (2012). Changes in renovation policies in the era of sustainability. *Energy and Buildings*, 47, 485-496. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.028>
- Barreras Ferrán, R. (2022, enero 1). 2021 en la Construcción: Año difícil, pero de tenacidad (+ Fotos) • Trabajadores. Trabajadores. <https://www.trabajadores.cu/20220101/2021-en-la-construccion-ano-dificil-pero-de-tenacidad-fotos-y-videos/>
- Brambilla, A., Salvalai, G., Imperadori, M., & Sesana, M. M. (2018). Nearly zero energy building renovation: From energy efficiency to environmental efficiency, a pilot case study. *Energy and Buildings*, 166, 271-283. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.002>
- Bravo Amarante, E., Pérez Gómez, J., & Rodríguez Consuegra, C. (2014). La Eficiencia Energética En La Producción De Ladrillos: Mini Revisión. 14.
- Campion, N., & Thiel, C. L. (2013). A materials life cycle assessment of a net-zero energy building. 6(2), 1125-1141.

Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2007). *Transferencia de calor y masa fundamentos de aplicación* (4ta ed.). Mc Graw- Hill/ Interamericana de México.

CEPAL. (2014). *Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: Avances y desafíos del último quinquenio*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

CEPAL. (2021). *Construir un futuro mejor Acciones para fortalecer la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.

Coletti, C., & Cultrone, G. (2016). How to face the new industrial challenge of compatible, sustainable brick production: Study of various types of commercially available bricks. 124. *Applied Clay Science*.

Comité Central del Partido Comunista de Cuba. (2021). *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026* (p. 86). Partido Comunista de Cuba (PCC).

Cozzarini, L., Marsich, L., Ferluga, A., & Schmid, C. (2020). Life cycle analysis of a novel thermal insulator obtained from recycled glass waste. *Developments in the Built Environment*, 3, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100014>

Cumo, F., Astiaso Garcia, D., Calcagnini, L., Cumo, F., Rosa, F., & Sferra, A. S. (2012). Urban policies and sustainable energy management. *Sustainable Cities and Society*, 4, 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.03.003>

D'Agostino, D., & Mazzarella, L. (2018). Data on energy consumption and Nearly zero energy buildings (NZEBs) in Europe. *Data in Brief*, 21, 2470-2474. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.11.094>

Dall'O', G., Sarto, L., Sanna, N., Tonetti, V., & Ventura, M. (2015). On the use of an energy certification database to create indicators for energy planning purposes: Application in northern Italy. *Energy Policy*, 85, 207-217. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.015>

Díaz Canel, M. M., Fernández González, A., & Núñez Jover, J. (2021). *Gestión de Gobierno basado en ciencias e innovación*. 23(1).

Fardales Pérez, J., & Gómez Avilés, B. (2005). Software MULTI-CRID (CENDA Patent N.º 1473-2005).

García Aponte, O. F., Vallejo Díaz, B. M., & Mora Huertas, C. E. (2015). La calidad desde el diseño: ~ principios y oportunidades para la industria farmacéutica. *Estudios Gerenciales*, 31, 68-78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.estger.2014.09.005>

Gómez Avilés, B. (2003). Salas de control y análisis de la eficiencia de la industria azucarera, una mirada hacia la calidad. *Revista centro azúcar*, 4, 18-28.

Gómez Avilés, B., Marrero Delgado, F., & Fardales Pérez, J. (2010). Ordenamiento y clasificación de características tecnológicas en la industria azucarera: Confección cliente proveedor en un proceso industrial. *Revista centro azúcar*, 37(1), 26-34.

Gómez Avilés, H. B. (2006a). Procedimiento para la mejora de la calidad del proceso industrial de la caña de azúcar. [Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas]. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

Gómez Avilés, H. B. (2006b). Procedimiento para la mejora de la calidad del proceso industrial de la caña de azúcar. [Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas]. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

González Couret, D. (1997). Economía y calidad en la vivienda. Un enfoque cubano. (Única). Editorial Científico-Técnica.

Grupo Intergubernamental de Expertos para la Evaluación del Cambio Climático. (2014). CAMBIO CLIMÁTICO 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad [QUINTO INFORME DE EVALUACIÓN DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO].

Harvey, J. (2004). PROCESS IMPROVEMENT. Match the Change Vehicle and Method To the Job.

Hernández, F. A., Lemus, I. A., Solano, F. E., & Martínez, L. A. (2019). ¿Qué características se requieren para que un edificio sea cero energía neta con un costo mínimo de ciclo de vida en la región de Centroamérica y el Caribe? 6.

Hunziker, R., Carroll, C., Souza, Y. A. de, Salter, E., Giovanetti, L. D., & Contucci, V. (2021). Net zero buildings where do we stand (p. 103). World Business Council for Sustainable Development. <https://www.wbcsd.org/>

Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor (4ta ed.). prentice halo.

IPCC, Zhai, P., Roberts, D., Skea, J., R. Shukla, P., Masson-Delmotte, V., & Otto Pörtner, H. (2018). Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Resumen para responsables de políticas].

Ishikawa. (1986). ¿Qué es el control total de la Calidad?: La modalidad japonesa. NORMA.

ISO, Organización Internacional de Normalización. (2015). Sistema de gestión de la calidad. Principios fundamentales y vocabulario.

Jabnoun, N., Khalifah, A., & Yusuf, A. (2003). Environmental Uncertainty, Strategic Orientation, and Quality Management: A Contingency Model», en Quality Journal Management. 10(4), 1-12.

Juran, J. M. (1999). Manual de la calidad (5ta ed.). Mc Graw- Hill/ Interamericana de México.

Juran, J. M., & Gryna, F. (1991). Manual de control de la calidad.

Juran, J. M., & M. Gryna, F. (2001). Quality Control Handbook. Mc Graw- Hill/ Interamericana de España.

Mahto, D., & Kumar, A. (2008). Application of root cause analysis in improvement of product quality and productivity. 1. <https://doi.org/10.3926/jiem.2008.v1n2.p16-53>

Manohar D, K., Jameer A., T., & Chandrakant S., M. (2020). Quality by Design-A Review. Pharma Tutor, 7(4), 48-51. <https://doi.org/10.29161/PT.v7.i4.2019.48>

Marrero Delgado, F. (2001). Procedimiento para la toma de decisiones logísticas con enfoque multicriterio en la cadena de corte alza y transporte de la caña de azúcar [Tesis en opción al grado de doctor en ciencias técnicas]. Marta Abreu.

Ministerio de la Construcción MICONS. (2014). Documento rector para la implementación del Programa Nacional de la Vivienda en Cuba.

Moen, N., & Tomas, L. (2000). Improvement of Quality. En Improvement of Quality Through Planned Experimentation. Mc Graw- Hill/ EE.UU.

Oficina nacional de normalización. (2005). Ladrillos cerámicos de arcilla cocida, requisitos.

Organización Latinoamericana de Energía. (2020). Perspectivas energéticas para América Latina y el Caribe.

Pacheco Paladini, E., Gómez Avilés, B., Rodríguez Perez, G., Cardoso Núñez, N., & Carlos Araldi, J. (2021). Quality Improvement of energy management: An analysis of industries in a developing country. 32, 207-239. <http://dx.doi.org/10.46925//rdluz.32.15>

Panal Leiva, E., Medrano García, Y., Rodríguez Aquino, Y., Marrero Delgado, F., & Gómez Avilés, H. B. (2022). Análisis de las relaciones entre etapas del proceso industrial arrocero cubano para gestiona costos de calidad. 45(2), 71-83.

Rabello, L. G., & Ribeiro, R. C. da C. (2021). A novel vermiculite/ vegetable polyurethane resin-composite for thermal insulation eco-brick production. Composites Part B: Engineering, 221, 109035. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109035>

Rodríguez Ramírez, J. D. N., Martínez Alvarez, C., Méndez Lagunas, L., & Aguilar Lescas, M. (2020). Perfiles de temperatura en un horno ladrillero. 3, 209-217.

Rueda Guzmán, L. A. (2004). Evaluación de los materiales de construcción de la piel arquitectónica en la ganancia térmica y el consumo de energía en los hoteles en cuba. Revista Chilena de la Construcción, 3(2).

Sartori, I., Napolitano, A., & Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. Energy and Buildings, 48, 220-232. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.032>

Scalco, V. A., Fossati, M., de Souza Versage, R., Sorgato, M. J., Lamberts, R., & Morishita, C. (2012). Innovations in the Brazilian regulations for energy efficiency of residential buildings. Architectural Science Review, 55(1), 71-81. <https://doi.org/10.1080/00038628.2011.641731>

Sikder, A. H. F., & Begum, K. (2016). Assessment of macro and micro nutrients around brick kilns agricultural environment. 3(1), 61-68. Information Processing in Agriculture.

Unión Europea. (2010). Directiva 2010/31/EU relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).

Unión Europea. (2016). (UE) 2016/1318 Recomendaciones sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo.

Woodall, H. W. (2000). Controversies and Contradictions in Statistical Process Control. *Journal of Quality Technology*, 32(4), 341-350.

Anexos

Anexo 1: Seis axiomas a tomar en consideración en el proceso de decisión multicriterio

1. El analista debe aparecer con una actitud modesta y presentar sus diversas conclusiones, incluso si estas son divergentes, y no sentirse frustrado si su trabajo no es más que un elemento entre otros planteados para la toma de la decisión final.
2. No es posible lograr un proceso de decisión que conserve una racionalidad sustantiva global de principio a fin. El decisor tiene que evolucionar sus criterios, cambiar sus puntos de vista o retroceder si fuera necesario.
3. Los criterios pueden variar con el tiempo. La creación de nuevas alternativas o la supresión de algunas, puede facilitar la búsqueda del consenso.
4. Todo método que se aleje de las representaciones y de las limitadas capacidades calculadas del decisor, será muy difícil de imponer en la práctica, en la medida de que, por lo general, los decisores son mucho más aprehensivos que calculadores.
5. La optimización, como concepto teórico, no resulta de utilidad en situaciones de extrema incertidumbre o de conflicto, o simplemente al estar mal definidas estas, por ser multidimensionales o poco propicias para una modelización numérica.
6. No existe una definición universal de optimalidad, sino que ésta depende del contexto organizativo, de las ideas y hasta de las segundas intenciones y de los objetivos del decisor.

Anexo 2: Aplicación del Método de Expertos

La determinación del número de expertos se realiza a partir de la distribución binomial de probabilidad siguiente:

$$n = \frac{p*(1-p)*k}{i^2}$$

Dónde:

i: nivel de precisión deseado.

p: proporción estimada de errores de los expertos

k: constante cuyo valor está asociado al nivel de confianza elegido.

Tomando los valores siguientes:

$$i = 0.10$$

$$p = 0.02$$

$$k = 3,8416 \text{ para un } 95\% \text{ nivel de confianza}$$

Se procede a hacer los cálculos:

$$n = \frac{0.02*(1-0.02)*3,8416}{0.10^2} = 7.5898 \approx 8 \text{ Expertos.}$$

El criterio de los expertos constituye la base para realizar el análisis de las relaciones del proceso industrial de fabricación de ladrillos.

Anexo 3. Listado de candidatos para seleccionar el grupo de expertos

No.	Nombre y apellidos	Área
1	Arq. Luis Alberto Rueda Guzmán	Arquitecto
2	Luis Fernández Ruiz	Industrial
3	Jose A Otaño Rodríguez	Industrial
4	Arq. Leonardo Pizarro Zulueta	Arquitecto
5	Dr. José Fernando Martirena	Ing. Civil
6	MSc. Noel Cardozo Núñez	Ing. Mecánico
7	Jesús Hernández Montes	Ciencias Técnicas
8	Dra. Bismayda Gómez Avilés	Industrial
9	Dr. Osvaldo Romero Romero	Ing. Químico
10	Pedro López Castro	Industrial
11	Prof. Ing. Kracmar PhD	Profesor de la TU Nuremberg
12	Quintiliano Gutiérrez Carvajal	Ing. Mecánico

Anexo 4. Cálculo del coeficiente de competencia

Determinación del Kc Grado de conocimiento o información.

$$Kc = n(0,1)$$

Expertos	Grado de conocimiento o información										Kc
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1										X	1
2								X			0.8
3									X		0.9
4										X	1
5									X		0.9
6										X	1
7									X		0.9
8									X		0.9
9										X	1
10							X				0.7
11									X		0.9
12							X				0.7

Anexo 5. Determinación del Coeficiente de Argumentación.

Expertos	Fuentes de argumentación																	
	1			2			3			4			5			6		
	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B
1	X			X			X			X			X			X		
2		X				X			X		X				X		X	
3			X		X				X		X			X				X
4	X				X		X			X			X			X		
5		X		X				X		X			X			X		
6	X			X			X			X				X		X		
7	X			X			X			X			X				X	
8		X		X				X			X		X			X		
9	X				X		X			X				X		X		
10		X			X				X			X			X			X
11	X			X			X			X			X			X		
12		X				X			X		X				X			X

Anexo 6. Determinación de Kc.

Hurtado de Mendoza		
ALTO	MEDIO	BAJO
0.27	0.21	0.13
0.24	0.22	0.12
0.14	0.10	0.06
0.08	0.06	0.04
0.09	0.07	0.05
0.18	0.14	0.10

Expertos	Fuentes de argumentación						Ka
	1	2	3	4	5	6	
1	0.27	0.24	0.14	0.08	0.09	0.18	1
2	0.21	0.12	0.10	0.06	0.07	0.14	0.70
3	0.13	0.24	0.06	0.06	0.07	0.10	0.66
4	0.27	0.22	0.14	0.08	0.09	0.18	0.98
5	0.21	0.24	0.10	0.08	0.09	0.18	0.90
6	0.27	0.24	0.14	0.08	0.07	0.18	0.98
7	0.27	0.24	0.14	0.08	0.09	0.18	1
8	0.21	0.24	0.10	0.06	0.09	0.18	0.88
9	0.27	0.24	0.14	0.08	0.09	0.18	1
10	0.21	0.22	0.06	0.04	0.05	0.10	0.68
11	0.27	0.24	0.14	0.08	0.09	0.18	1
12	0.21	0.12	0.06	0.06	0.05	0.10	0.60

Anexo 7. Coeficiente de Competencia (K)

Expertos	Coeficientes			Evaluación del experto
	Kc	Kc	Kc	
1	1	1	1	Alto
2	0.8	0.70	0.75	Medio
3	0.9	0.66	0.78	Medio
4	1	0.98	0.99	Alto
5	0.9	0.90	0.9	Alto
6	1	0.98	0.99	Alto
7	0.9	1	0.95	Alto
8	0.9	0.88	0.89	Alto
9	1	1	1	Alto
10	0.7	0.68	0.69	Medio
11	0.9	1	0.95	Alto
12	0.7	0.60	0.65	Medio

- Si $0,8 < K < 1,0$ coeficiente de competencia alto.
- Si $0,5 < K < 0,8$ coeficiente de competencia medio
- Si $K < 0,5$ coeficiente de competencia bajo

Los expertos seleccionados para formar el equipo de trabajo son el 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11

Listado de expertos seleccionados.

1. Arq. Luis Alberto Rueda Guzmán

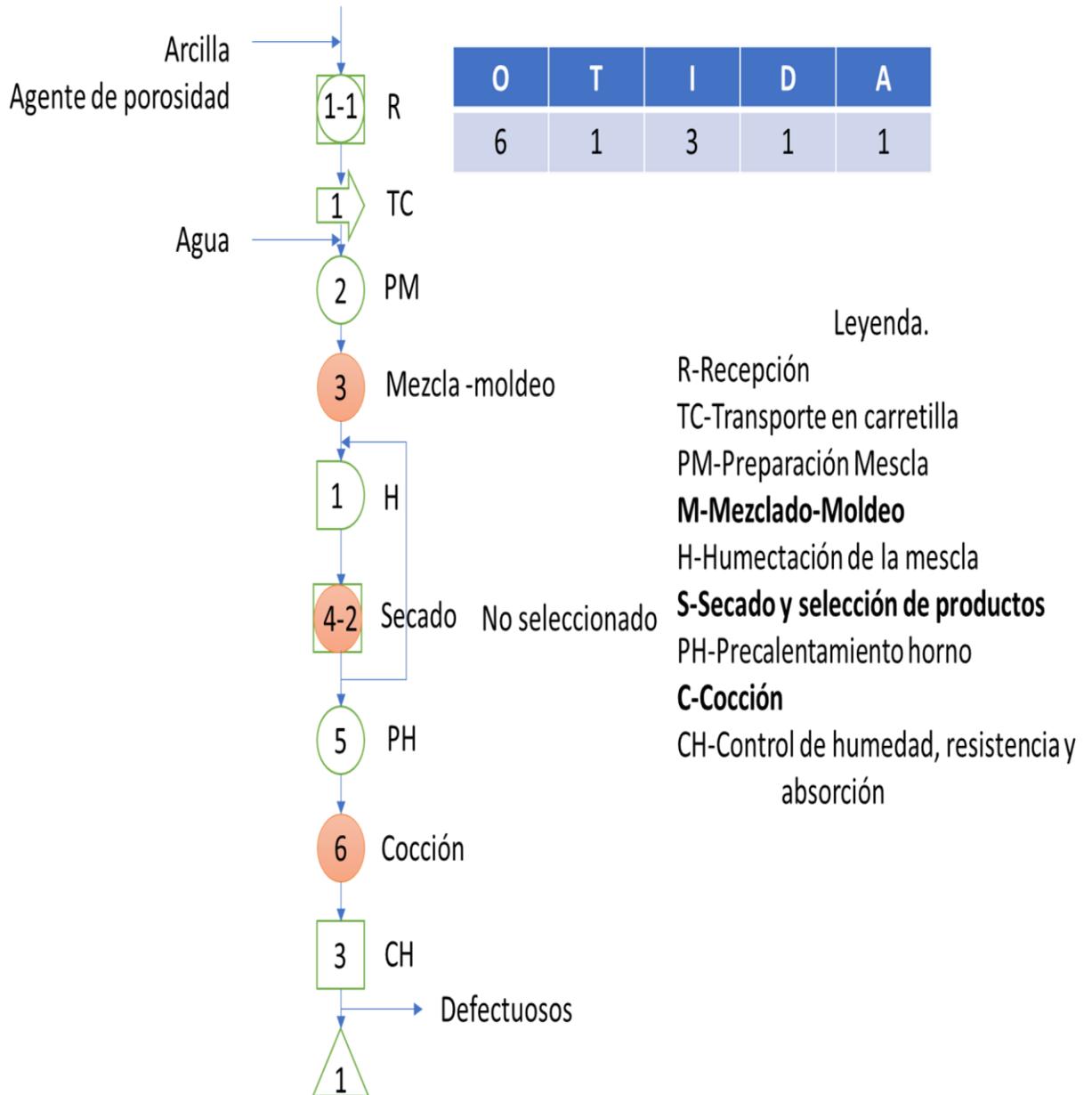
Doctor en Ciencias Técnicas con la tesis .

2. Arq. Leonardo Pizarro Zulueta

Premio Mención Especial en Categoría Viviendas en el Salón de la Bienal de Arquitectura 2013. 15 años de experiencia en la actividad de proyectos.

3. Dr. José Fernando Martirena Ingeniero Civil
Doctor en Ciencias Técnicas. Director del Centro de Investigación y Desarrollo de Materiales de la Construcción CIDEM-UCLV. Desarrollador del Cemento de Bajo Carbono LC3.
4. MsC. Noel Cardozo Núñez Ingeniero Mecánico
Director General de la Empresa Productora de Materiales de la Construcción. 33 años de experiencia en la industria cubana de la cerámica roja.
5. Jesús Hernández Montes
Director del Centro de Desarrollo de Materiales de Construcción.
6. Dra. Bismayda Gómez Avilés Ingeniera Industrial
Doctora en Ciencias Técnicas de la UCLV. Especialista en ingeniería de procesos y calidad.
7. Dr. Osvaldo Romero Romero Ingeniero Químico
Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor de la TU Berlín.
8. Prof. Ing. Kracmar PhD
Profesor de la TU Nuremberg. Desarrollador del ladrillo más aislante del mundo con $\lambda=0.09$

Anexo 8. Diagrama de proceso



Anexo 9: Evaluación de los expertos sobre el grado de relación entre características por etapas.

Expertos seleccionados.

Arq. Luis Alberto Rueda Guzmán

Doctor en Ciencias Técnicas con la tesis

Mezcla-Moldeo (1)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	% Humedad mezcla	tiempo envejecimiento	Impurezas	Densidad	Plasticidad	Volumen	% Humedad pastilla	Uniformidad
Agente de porosidad	1	2	3	3	3	1	2	1
Granulometría	2	1	1	3	2	1	2	3
Superficie específica	2	3	2	3	3	2	3	3
Impurezas	0	1	3	1	3	0	0	3

SECADO (mean)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de secado	Temperatura secado	Distribución térmica	% Humedad relativa	Porosidad	Transferencia masa H-S	% Absorción	% Humedad ladrillo
Masa húmeda ladrillo	3	2	3	1	2	3	3	3
% Humedad de la mezcla	3	3	3	3	1	3	2	3
Composición de la mezcla	3	3	2	2	3	2	3	3
Tecnología para secado (combustible/horno)	3	2	3	3	3	3	2	3
Tipología/Geometría	2	3	2	1	2	1	3	1

COCCION (mean)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de cocción	Temperatura cocción	Distribución térmica	Transferencia masa H-S	% Resistencia	Aislamiento térmico	Planeidad	%Absorción
Masa H-S	3	2	3	3	2	1	1	3
% Humedad ladrillo	3	2	2	3	1	1	2	3
Tecnología para cocción (combustible/horno)	3	3	3	3	3	3	2	2
%Absorción inicial	2	3	2	2	2	1	2	3
Porosidad	2	3	1	2	3	3	3	3
Tipología/Geometría	2	2	3	3	3	3	1	1
	2	3	3	2	3	3	2	2

Arq. Leonardo Pizarro Zulueta

Premio Mención Especial en Categoría Viviendas en el Salón de la Bienal de Arquitectura 2013. 15 años de experiencia en la actividad de proyectos.

Mezcla-Moldeo (2)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	% Humedad mezcla	tiempo envejecimiento	Impurezas	Densidad	Plasticidad	Volumen	% Humedad pastilla	Uniformidad	
Agente de porosidad	1	2	3	3	3	2	3	2	
Granulometría	2	3	2	3	2	1	2	3	
Superficie específica	2	3	1	3	3	2	3	3	
Impurezas	0	1	3	1	2	1	0	3	

SECADO (2)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de secado	Temperatura secado	Distribución térmica	% Humedad relativa	Porosidad	Transferencia masa H-S	%Absorción	% Humedad ladrillo	
Masa húmeda ladrillo	2	1	2	3	3	3	2	2	
% Humedad	3	3	3	3	2	3	3	3	
Composición de la mezcla	2	3	0	2	3	2	3	3	
Tecnología para secado (combustible/horno)	3	3	3	3	3	2	1	2	
Tipología/Geometría	2	3	2	0	2	2	2	1	

COCCION (2)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de cocción	Temperatura cocción	Distribución térmica	Transferencia masa H-S	% Resistencia	Aislamiento térmico	Planeidad	%Absorción	
Masa H-S	2	1	2	3	1	1	2	3	
% Humedad ladrillo	3	2	3	2	2	2	1	1	
Tecnología para cocción (combustible/horno)	3	3	3	2	3	2	2	1	
%Absorción inicial	1	1	0	2	2	2	1	3	
Porosidad	3	2	2	1	3	3	3	1	
Tipología/Geometría	2	3	3	2	3	3	2	2	

Dr. José Fernando Martirena Ingeniero Civil

Doctor en Ciencias Técnicas. Director del Centro de Investigación y Desarrollo de Materiales de la Construcción CIDEM-UCLV. Desarrollador del Cemento de Bajo Carbono LC3.

Mezcla-Moldeo (3)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	% Humedad mezcla	tiempo envejecimiento	Impurezas	Densidad	Plasticidad	Volumen	% Humedad pastilla	Uniformidad	
Agente de porosidad	2	3	3	2	3	2	3	2	
Granulometría	3	2	1	3	2	1	2	3	
Superficie específica	3	3	1	2	3	2	3	3	
Impurezas	0	1	3	2	2	1	0	3	

SECADO (mean)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de secado	Temperatura secado	Distribución térmica	% Humedad relativa	Porosidad	Transferencia masa H-S	%Absorción	% Humedad ladrillo	
Masa húmeda ladrillo	1	1	2	2	2	3	1	2	
% Humedad de la mezcla	3	3	2	3	2	3	1	3	
Composición de la mezcla	3	3	2	3	3	1	3	3	
Tecnología para secado (combustible/horno)	3	2	2	3	3	3	1	3	
Tipología/Geometría	2	3	2	0	2	2	2	1	

COCCION (mean)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de cocción	Temperatura cocción	Distribución térmica	Transferencia masa H-S	% Resistencia	Aislamiento térmico	Planeidad	%Absorción	
Masa H-S	1	1	2	3	2	3	2	3	
% Humedad ladrillo	3	3	3	3	3	3	2	1	
Tecnología para cocción (combustible/horno)	3	3	2	3	3	3	3	2	
%Absorción inicial	1	1	0	2	2	2	1	3	
Porosidad	3	3	2	2	3	3	3	2	
Tipología/Geometría	2	3	3	2	3	3	2	2	

MsC. Noel Cardozo Núñez Ingeniero Mecánico

Director General de la Empresa Productora de Materiales de la Construcción. 33 años de experiencia en la industria cubana de la cerámica roja.

Mezcla-Moldeo (4)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	% Humedad mezcla	tiempo envejecimiento	Impurezas	Densidad	Plasticidad	Volumen	% Humedad pastilla	Uniformidad
Agente de porosidad	1	3	3	3	3	2	3	2
Granulometría	3	2	1	3	3	1	3	3
Superficie específica	3	3	1	2	3	2	3	3
Impurezas	1	1	3	2	2	1	1	3

SECADO (mean)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de secado	Temperatura secado	Distribución térmica	% Humedad relativa	Porosidad	Transferencia masa H-S	%Absorción	% Humedad ladrillo
Masa húmeda ladrillo	1	2	3	2	2	3	2	3
% Humedad de la mezcla	3	3	1	3	3	3	3	3
Composición de la mezcla	3	3	2	1	3	2	3	2
Tecnología para secado (combustible/horno)	3	3	3	2	3	3	1	3
Tipología/Geometría	2	1	1	2	3	3	1	0

COCCION (mean)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de cocción	Temperatura cocción	Distribución térmica	Transferencia masa H-S	% Resistencia	Aislamiento térmico	Planeidad	%Absorción
Masa H-S	1	3	2	3	3	2	2	3
% Humedad ladrillo	2	3	3	3	2	2	2	1
Tecnología para cocción (combustible/horno)	3	3	3	3	3	3	1	1
%Absorción inicial	1	2	2	3	1	2	1	3
Porosidad	2	3	2	1	3	3	3	2
Tipología/Geometría	2	2	1	1	3	3	1	1

Jesús Hernández Montes

Director del Centro de Desarrollo de Materiales de Construcción.

Mezcla-Moldeo (5)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	% Humedad mezcla	tiempo envejecimiento	Impurezas	Densidad	Plasticidad	Volumen	% Humedad pastilla	Uniformidad
Agente de porosidad	2	1	2	3	3	2	2	3
Granulometría	3	2	2	2	3	1	1	3
Superficie específica	3	2	0	2	3	1	1	3
Impurezas	1	1	3	0	2	1	1	2

SECADO (mean)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de secado	Temperatura secado	Distribución térmica	% Humedad relativa	Porosidad	Transferencia masa H-S	%Absorción	% Humedad ladrillo	
Masa húmeda ladrillo	2	3	1	2	3	3	1	2	
% Humedad de la mezcla	3	3	2	3	2	3	1	3	
Composición de la mezcla	2	2	3	1	3	3	3	1	
Tecnología para secado (combustible/horno)	3	2	2	1	3	3	2	3	
Tipología/Geometría	2	3	3	2	3	2	1	1	

COCCION (mean)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de cocción	Temperatura cocción	Distribución térmica	Transferencia masa H-S	% Resistencia	Aislamiento térmico	Planeidad	%Absorción	
Masa H-S	3	2	3	3	2	1	1	3	
% Humedad ladrillo	2	3	2	2	2	2	1	2	
Tecnología para cocción (combustible/horno)	3	3	3	2	3	3	2	2	
%Absorción inicial	1	2	2	1	2	1	2	3	
Porosidad	3	3	2	2	3	3	2	1	
Tipología/Geometría	1	3	2	1	2	3	2	1	

Dra. Bismayda Gómez Avilés Ingeniera Industrial

Doctora en Ciencias Técnicas de la UCLV. Especialista en ingeniería de procesos y calidad.

Mezcla-Moldeo (6)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	% Humedad mezcla	tiempo envejecimiento	Impurezas	Densidad	Plasticidad	Volumen	% Humedad pastilla	Uniformidad
Agente de porosidad	1	2	0	3	3	2	1	1
Granulometría	2	0	1	3	3	2	3	3
Superficie específica	2	3	1	3	3	2	3	3
Impurezas	0	1	2	1	3	0	0	3

SECADO (mean)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de secado	Temperatura secado	Distribución térmica	% Humedad relativa	Porosidad	Transferencia masa H-S	%Absorción	% Humedad ladrillo
Masa húmeda ladrillo	1	1	2	3	1	3	3	2
% Humedad de la mezcla	2	3	3	3	2	3	1	3
Composición de la mezcla	3	3	3	2	3	3	3	3
Tecnología para secado (combustible/horno)	2	3	3	2	3	3	1	2
Tipología/Geometría	1	1	2	3	3	3	1	1

COCCION (mean)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo de cocción	Temperatura cocción	Distribución térmica	Transferencia masa H-S	% Resistencia	Aislamiento térmico	Planeidad	%Absorción	
Masa H-S	2	3	3	3	1	1	1	3	
% Humedad ladrillo	3	3	3	3	2	1	1	1	
Tecnología para cocción (combustible/horno)	3	2	2	2	3	2	1	1	
%Absorción inicial	1	2	1	2	1	2	2	3	
Porosidad	3	3	3	2	3	3	2	2	
Tipología/Geometría	1	3	2	1	2	3	1	1	

Dr. Osvaldo Romero Romero Ingeniero Químico

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor de la TU Berlín

Mezcla-Moldeo (7)		Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	% Humedad mezcla	tiempo envejecimiento	Impurezas	Densidad	Plasticidad	Volumen	% Humedad pastilla	Uniformidad	
Agente de porosidad	2	0	2	2	1	1	2	3	
Granulometría	3	2	1	2	3	2	3	2	
Superficie específica	3	2	1	2	3	2	3	2	
Impurezas	0	1	3	1	3	2	2	3	

SECADO (mean)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo secado	de Temperatura secado	Distribución térmica	% Humedad relativa	Porosidad	Transferencia masa H-S	%Absorción	% Humedad ladrillo
Masa húmeda ladrillo	2	2	1	3	1	3	2	3
% Humedad ladrillo	3	3	2	3	2	3	1	3
Composición de la mezcla	3	3	3	2	3	2	2	3
Tecnología para secado (combustible/horno)	3	3	3	2	3	3	3	3
Tipología/Geometría	1	2	3	2	2	2	3	2

COCCION (mean)	Parámetros proceso				Variable de salida			
Variables de entrada	Tiempo cocción	de Temperatura cocción	Distribución térmica	Transferencia masa H-S	% Resistencia	Aislamiento térmico	Planeidad	%Absorción
Masa H-S	2	3	2	3	1	2	2	3
% Humedad ladrillo	3	3	2	3	2	2	1	3
Tecnología para cocción (combustible/horno)	3	3	3	2	3	3	2	3
%Absorción inicial	2	1	2	2	2	2	1	3
Porosidad	2	2	1	2	3	3	2	2
Tipología/Geometría	2	2	2	1	3	3	3	2