Universidad Iberoamericana Puebla

Repositorio Institucional **http://repositorio.iberopuebla.mx**

Maestría en Ingeniería en Manufactura Avanzada Tesis

Disminución del desperdicio cocido en una planta de cerámica mediante la metodología de los siete pasos

Ángeles García, José Román de los

2021

https://hdl.handle.net/20.500.11777/5067

http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA PUEBLA

Estudios con Reconocimiento de Validez Oficial por Decreto Presidencial del 3 de abril de 1981

DISMINUCIÓN DEL DESPERDICIO COCIDO EN UNA PLANTA DE CERÁMICA MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE LOS 7 PASOS

DIRECTOR DEL TRABAJO

DR. MOISÉS JIMÉNEZ MARTÍNEZ

ELABORACIÓN DE TESIS

que para obtener el Grado de

MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN MANUFACTURA AVANZADA

Presenta

JOSÉ ROMÁN DE LOS ÁNGELES GARCÍA

Puebla, Pue. 2021

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 7

INTRODUCCIÓN 7

1.1 ANTECEDENTES 7

1.1.1 HISTORIA DE GRUPO LAMOSA. 7

1.1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE REVESTIMIENTOS CERAMICOS. 13

1.1.3 CARACTERISTICAS FISICAS DE MATERIALES CERAMICOS 20

1.1.4 DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN DE LAS BALDOSAS CERÁMICAS 21

1.2 DEFINICION Y DELIMITACIÓN 26

1.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 26

1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA 27

1.3 OBJETIVOS 28

1.3.1 OBJETIVO GENERAL. 28

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS. 28

1.4 JUSTIFICACIÓN 28

CAPÍTULO 2 29

MARCO TEÓRICO 29

2.1 ESTADO DEL ARTE 29

2.1.1 EL CONCEPTO LEAN MANUFACTURING 29

2.1.2 LOS PRINCIPIOS DE LA MANUFACTURA ESBELTA 31

2.1.3 DEFINICIÓN DEL DESPERDICIO O MUDA EN EL TPS 32

2.2 HERRAMIENTAS PARA LA DISMINUCIÓN DEL DESPERDICIO 34

2.2.1 METODOLOGÍA DE LAS 5´S 34

2.2.2 JUST IN TIME (JIT) 34

2.2.3 TQM (Total Quality Management): Gestión de la calidad total 35

2.2.4 KANBAN 36

2.2.5 SMED (SINGLE – MINUTE EXCHANGE OF DIE) 37

2.2.6 POKA – YOKE 37

2.2.7 ANDON 38

2.2.8 MÉTODO DE ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS 39

CAPÍTULO 3 43
METODOLOGÍA 43
3.1 METODOLOGÍA DE LOS 7 PASOS 43
3.2 PASO 1: SELECCIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA 44
3.2.1 VENTAJAS 45
3.2.2 DESVENTAJAS 45
3.3 PASO 2: Cuantificación y subdivisión 46
3.4 PASO 3: Análisis de causa raíz 48
3.4.1 MATERIALES 49
3.4.2 MANO DE OBRA 49
3.4.3 MÁQUINAS 50
3.4.4 MÉTODOS 50
3.4.5 MEDICION 50
3.4.6 MEDIO AMBIENTE 50
3.5 PASO 4: Nivel de desempeño requerido (metas) 51
3.6 PASO 5: Diseño y programación de soluciones 51
3.7 PASO 6: Implantación de soluciones 51
3.7.1 EVALUACIÓN VIRTUAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO 52
3.7.2 INVESTIGAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL PRODUCTO 56
3.7.3 REALIZAR PRUEBAS DE RESISTENCIA A CADA PRODUCTO 58
3.7.4 INVESTIGAR EL ESTADO ACTUAL DE LAS CARGAS POR CONTENEDOR 60
3.7.5 AJUSTAR LA CANTIDAD DE NIVELES SEGÚN EL ESTUDIO REALIZADO 61
3.7.6 ESTANDARIZAR EL PROCESO DE CARGA Y DESCARGA 61
3.7.7 REPARAR EL SUELO POR EL QUE TRANSITAN LOS LGV´s 65
3.7.8 MONITOREAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES IMPLEMENTADAS 66
3.7.9 MEDIR EL DESPERDICIO DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN 67
3.8 PASO 7: Establecimiento de acciones de garantía 69
3.8.1 NORMALIZAR PRÁCTICAS OPERATIVAS 69
3.8.2 ENTRENAMIENTO EN LOS NUEVOS MÉTODOS. 70
3.8.3 RECONOCER RESULTADOS Y DEFINIR NUEVOS OBJETIVOS. 70
CAPÍTULO 4 71
CONCLUSIONES 71
BIBLIOGRAFÍA 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Logo GRUPO LAMOSA. 7
Figura 2 - Automatización de los procesos en KERAMIKA 8
Figura 3 - Plantas de revestimientos del Grupo Lamosa. 9
Figura 4 - Marcas del negocio de adhesivos de Grupo Lamosa 11
Figura 5 - Planta Keramika – Tlaxcala. Fuente: Elaboración propia 12
Figura 6 - Proceso de producción de revestimiento cerámico. 14
Figura 7 - Proceso PDM. 15
Figura 8 - Proceso de prensado en seco 15
Figura 9 - Secador de tipo vertical. 16
Figura 10 - Esmaltado para baldosas cerámicas. 16
Figura 11 - Esquema general de un horno a rodillos. 17
Figura 12 - Línea de clasificación y empaque. 17
Figura 13 - Proceso de transporte continuo. 18
Figura 14 - Proceso de carga y transporte. 19
Figura 15 - TPS y la Casa Lean. 30
Figura 16 - Técnicas del Lean Manufacturing. 31
Figura 17 – Just In Time. 35
Figura 18 – Método KANBAN. 37
Figura 19 – Poka Yoke. 38
Figura 20 – ANDON. 38
Figura 21 – Análisis estático mediante FEA 41
Figura 22 – Suposición de linealidad 42
FIGURA 23 – Metodología de los 7 pasos 43
Figura 24 - Línea de transporte continuo 44
Figura 25 - Desperdicios generados en el proceso de carga. 45
Figura 26 - Reporte de defectos detectados en el departamento de selección 46
Figura 27 - Captura de información en la base de datos 47

Figura 28 - Grafica de desperdicio, diciembre de 2018 47
Figura 29 - Esquema de un diagrama Causa – Efecto 48
Figura 30 - Diagrama causa – efecto. 49
Figura 31 - Generación de modelo 52
Figura 32 - Propiedades físicas del material 53
Figura 32 - Asignación de condiciones de frontera y cargas 53
Figura 33 - Mallado del modelo 54
Figura 34 – Simulación de la densidad de 70 losetas en una 54
Figura 35 - Ensamble de modelos y corrida del programa 55
Figura 36 - Resultado de la simulación. 55
Figura 37 - Equipo de laboratorio para el calculo de resistencia. 57
Figura 38 - Pruebas de laboratorio realizadas. 58
Figura 39 - Modulo de rotura en kg/cm^2, formato 20x90cm. 58
Figura 40 - Modulo de rotura en kg/cm^2, formato 18x55cm 59
Figura 41 - Modulo de rotura en kg/cm^2, formato 40x40cm. 59
Figura 42 - Modulo de rotura en kg/cm^2, formato 33x33cm. 59
Figura 43 - Máquinas de carga y descarga de producto cocido. 61
Figura 44 - Ayuda visual, formado de estratos. 63
Figura 45 - Ayuda visual, centrado de plancha de aspiración. 63
Figura 46 - Ayuda visual, colocación de cintas en plancha de aspiración. 64
Figura 47 - Propuesta de plantilla para el formato 40cmx40cm 65
Figura 48 - Transporte de contenedores mediante LGV´s. 66
Figura 49 - Gráfica del desperdicio cocido en diciembre de 2019 67
Figura 50 - Comparación del desperdicio generado en diciembre de 2018 y 2019. 68
Figura 51 - Cálculo del desperdicio global 69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Clasificación de baldosas por absorción de agua 25
Tabla 2 - Inspección y disposición de las baldosas 26
Tabla 3 – Delimitación del problema. 27
Tabla 4 – 7 desperdicios del TPS 33
Tabla 5 – Metodología de las 5´s. 34
Tabla 6 - Diagrama de Gantt, año 2019 51
Tabla 7 - Propiedades físicas del producto semigres 56
Tabla 8 - Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión 57
Tabla 9 - Relación fuerza ejercida – modulo de rotura. 60
Tabla 10 - Disminución de niveles cargados por contendor. 61

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 HISTORIA DE GRUPO LAMOSA.

Lamosa se constituyó bajo la denominación social de Ladrillera Monterrey, S.A. en 1929 por los señores Ing. Bernardo Elosúa Farías y el Ing. Viviano L. Valdés, a través de la adquisición de la firma "Compañía Manufacturera de Ladrillos Monterrey", una empresa dedicada a la fabricación de ladrillos que inició operaciones en el año de 1890. Su Director General actual y presidente del Consejo de Administración, Ing. Federico Toussaint Elosúa, es uno de los nietos del Ing. Bernardo Elosúa Farías.

Figura 1 - Logo GRUPO LAMOSA. Fuente (Lamosa, 2019)

En 1933, los señores Elosúa y Valdés identificaron un nuevo mercado en el cual su compañía manufacturera de ladrillos pudiera expandirse, incorporando la fabricación de revestimientos cerámicos como una nueva línea de negocio. Para los años 40's, los revestimientos cerámicos se habían convertido en uno de los productos básicos de Lamosa.

En 1957, impulsados por un deseo de crecimiento continuo y de diversificar su gama de productos, Lamosa creó la marca Crest y se convirtió en uno de los primeros fabricantes en México que produjo adhesivos cerámicos basados en cemento. Adicionalmente, en los años 60's, Lamosa comenzó la producción de productos sanitarios y muebles para baño a través de su subsidiaria Sanitarios Azteca, S.A. (actualmente denominada Sanitarios Lamosa, S.A. de C.V. o Sanitarios Lamosa).

El final de los años 60’s trajo nuevos avances tecnológicos que fueron rápidamente adoptados por Lamosa y que ayudaron a incrementar su producción de revestimientos cerámicos de manera significativa.

Durante los años 80’s, Lamosa comenzó a automatizar sus procesos principales para la producción de revestimientos cerámicos y fue uno de los primeros productores de revestimientos cerámicos en México que introdujo hornos de quemado semicontinuo. Los años 90’s fueron definidos por un cambio en la estructura organizacional y gobierno corporativo de Lamosa, consolidando a Lamosa como uno de los líderes en el mercado mexicano y elevando sus estándares de calidad a niveles internacionales.

Figura 2 - Automatización de los procesos en KERAMIKA. Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, la estrategia de crecimiento de Grupo Lamosa ha incluido también la adquisición de ciertas plantas y competidores en los negocios de revestimientos cerámicos y de adhesivos.

NEGOCIO DE REVESTIMIENTOS

Los orígenes de este negocio se remontan al año de 1933, cuando por primera vez en México se fabrica el azulejo de manera industrial. En noviembre del 2007, con la adquisición de Porcelanite, el negocio Porcelanite-Lamosa se convierte en uno de los mayores productores de revestimientos cerámicos en el mundo con una capacidad de producción superior a 120 millones de metros cuadrados.

Durante el cuarto trimestre del 2016, Grupo Lamosa adquiere Cerámica San Lorenzo, fortaleciendo su presencia en Sudamérica. La adquisición permitió incrementar la capacidad de producción del negocio de Revestimientos en un 40%, a través de plantas y centros de distribución en Argentina, Chile, Colombia y Perú.

Figura 3 - Plantas de revestimientos del Grupo Lamosa. Fuente (Lamosa, 2019)

Porcelanite-Lamosa cuenta con un liderazgo nacional en la comercialización de revestimientos cerámicos, ya que tiene la más amplia red de distribuidores. Además de ser uno de los principales fabricantes del país, las exportaciones se han convertido en una parte importante y creciente del negocio al exportar poco más del 20% de sus ventas al mercado estadounidense y Centro / Sur América.

El Negocio de Revestimientos ha implementado en los últimos años una estrategia de crecimiento y actualización tecnológica, que le ha permitido ser uno de los principales fabricantes en México con una plataforma tecnológica de punta. Gracias a ello se han

alcanzado mayores niveles de productividad, brindando la oportunidad de fabricar productos de alto valor agregado, enriqueciendo la oferta comercial en el mercado. La innovación continúa para el lanzamiento de productos con nuevos diseños, formatos y mejores características, son el resultado de la combinación del talento humano y de la tecnología. Todo esto permite a Porcelanite-Lamosa ofrecer ambientes bellos, personalizados y duraderos; mucho más que un simple revestimiento cerámico.

Porcelanite-Lamosa ofrece un amplio portafolio a través de sus marcas: Porcelanite, Lamosa, Itálica, Firenze Tecnoarte que presentan las siguientes ventajas:

- Productos innovadores que ofrecen opciones múltiples de texturas, colores, acabados y estilos para crear expresiones hechas a la medida.
- Revestimientos cerámicos que contribuyen en construcciones sustentables a través de la obtención de puntos para certificación LEED, acrónimo de Leadership in Energy & Environmental Design (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental).
- Primer fabricante mexicano cuyos productos son certificados bajo la norma sustentable “Green Squared” del TCNA (Tile Council of North America).
- Ubicación geográfica para atender las regiones de Norteamérica, Centro y Sudamérica.
- Plataforma de producción con tecnología de punta.

NEGOCIO DE ADHESIVOS, BOQUILLAS E IMPERMEABILIZANTES

El Negocio de Adhesivos ha sido el pionero en el desarrollo y comercialización de adhesivos cerámicos en México. Iniciando operaciones en el año de 1957, se ha convertido en el principal fabricante del país. Se destaca por su liderazgo e innovación constante en la fabricación y comercialización de productos de alta resistencia y durabilidad para la instalación y mantenimiento de pisos, azulejos, recubrimientos y otros materiales relacionados con la industria de la construcción.

El Negocio de Adhesivos cuenta con una amplia cobertura en el mercado nacional a través de sus 13 plantas productivas localizadas a lo largo de todo el país. También se tiene presencia en Centroamérica y ahora también en el mercado de los Estados Unidos. Su amplia gama de productos lo convierte en líder indiscutible de la industria.

En los últimos años el negocio ha implementado una estrategia de crecimiento a través de adquisiciones e instalación de nuevas plantas productivas de clase mundial en diferentes puntos de la República Mexicana.

El Negocio de Adhesivos ofrece un amplio portafolio a través de sus marcas: Crest, Impercrest, Perdura, Niasa y Solutek.

Figura 4 - Marcas del negocio de adhesivos de Grupo Lamosa. Fuente (Lamosa, 2019)

CREST

Es la marca más reconocida en México, manteniéndose como líder en el mercado por más de 50 años. Esto derivado del perfeccionamiento constante de su fórmula, la consistencia en su calidad, la imagen de su marca y la introducción de productos revolucionarios con lo que ha logrado la aceptación y confianza del consumidor.

PERDURA

Fundada en 1967 y adquirida por Lamosa en 1998, su objetivo primordial es el de satisfacer una necesidad de mercado en la industria de los acabados para la construcción, en la instalación de pisos y azulejos, permaneciendo como líderes en la zona Occidente, el Pacífico y Bajío de México.

NIASA

Industrias Niasa fue fundada en el año de 1967 y adquirida por Lamosa en 2001. Esta empresa se dedica a la comercialización y fabricación de Adhesivos, Emboquilladores, Texturizados, Cementos Especializados, Aditivos e Impregnantes de alta calidad.

SOLUTEK

La marca Solutek fue creada por Porcelanite en el 2001 y adquirida por Lamosa en el 2007. Sus plantas cuentan con la tecnología más avanzada a nivel mundial en la fabricación de morteros secos, premezclados y está certificada bajo las normas de calidad de ISO 9001.

VENTAJAS QUE OFRECEN

- Productos con las características y estándares de calidad y desempeño más altos en el mercado.
- Portafolio integral de productos con amplia cobertura en un gran número de distribuidores.
- Organización orientada al cliente.
- Liderazgo tecnológico a través de la investigación y desarrollo de productos especializados para la industria de la construcción.
- Líneas de productos dirigidas al cuidado del medio ambiente.

PLANTA KERAMIKA – TLAXCALA

Keramika es una de las nueve plantas del negocio de revestimientos cerámicos que se encuentran en la República Mexicana, ubicada en Carretera San Martin Tlaxcala KM. 6.5, Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Tlaxcala.

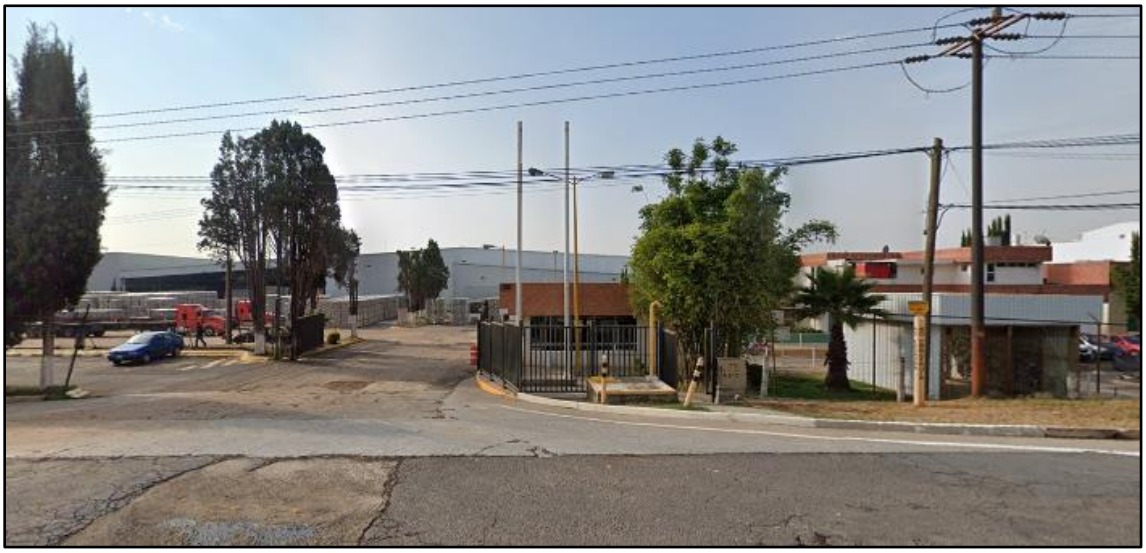


Figura 5 - Planta Keramika – Tlaxcala. Fuente: Elaboración propia

MISIÓN

Mantener nuestra posición de liderazgo en la industria de la construcción ofreciendo productos que preserven el patrimonio de nuestros clientes y la reputación de profesionistas e instaladores, generando valor creciente y sostenible a nuestros distribuidores, personal y accionistas; siempre comprometidos con la comunidad y su medio ambiente.

VISION

Ser líderes dentro del Grupo Porcelanite – Lamosa logrando los más altos indicadores de calidad y productividad manteniendo un buen ambiente de trabajo.

VALORES

Los valores de Grupo Lamosa son los principios rectores que marcan el diario actuar en la organización, estos valores básicos nos conducen a vivir siempre con congruencia y son una guía que deberemos observar todos los colaboradores.

- **Responsabilidad.** Es un valor que mide nuestro cumplimiento de metas y objetivos que nos hemos fijado. Ser responsable requiere esfuerzo y concentración porque genera credibilidad y respeto a nosotros.
- **Honestidad.** Es un valor que orienta nuestra conducta y eleva nuestra dignidad como personas. Es la capacidad de decir la verdad y actuar conforme a ella.
- **Espíritu de Servicio.** Es el ánimo voluntario que nos empuja a resolver en colaboración, necesidades propias y de otros, manteniendo siempre la orientación al cliente.
- **Trabajo en Equipo.** Es una actitud que nos ayuda a compartir responsabilidades y compromisos para alcanzar una meta común. Con este enfoque obtenemos resultados y aprovechamos las fuerzas y cualidades de cada integrante, siempre respetando la dignidad de todas las personas. ¡Cuando trabajamos en equipo, todos ganamos!
- **Mejora Continua.** Es una actitud que nos permite mantener el deseo y el compromiso por hacer cada vez mejor nuestro trabajo. Cuando la mejora continua forma parte de nuestra manera de ser, nos permite medirnos con altos estándares internacionales para seguir siendo una empresa líder para nuestros clientes; manteniendo un enfoque a resultados y buscando ser la mejor opción para nuestros accionistas.

1.1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE REVESTIMIENTOS CERAMICOS.

El proceso de producción de revestimientos cerámicos comienza con la molienda y mezcla húmeda de diferentes arcillas. La mezcla se seca utilizando un secador especial (atomizador) hasta que se convierte en un polvo fino también llamado barbotina. El polvo se comprime a través de prensas, etapa del proceso en la que el revestimiento adquiere su forma, textura y conformación.

A continuación, se reduce la cantidad de agua en el cuerpo del producto mediante un proceso de secado, después se esmalta y decora con un diseño en específico y finalmente se almacena en contenedores para ser transportado hacia el horneado. El proceso de cocción es un tratamiento térmico al que se someten los materiales cerámicos y consiste en el movimiento del producto por las secciones del horno, mismas que alcanzan temperaturas superiores a los 1,100°C. El producto final es sometido a un proceso de selección mediante el cual se asegura que el producto que será empacado y embalado para su entrega al cliente cuente con los estándares de calidad establecidos. En la figura 6 se presenta el flujo de los procesos mediante los cuales se lleva a cabo la transformación de las materias primas hasta convertirse en el producto final.

Figura 6 - Proceso de producción de revestimiento cerámico. Fuente: Elaboración propia

1. **PDM (Pesado y dosificación de molienda):** Una vez elegidas las materias primas arcillosas, no arcillosas, aditivos y determinada la proporción en la que va a intervenir cada una de ellas (formulación), se realiza el pesaje y la dosificación de estas en molinos rotatorios.

2. **MOLIENDA Y ATOMIZADO:** La mezcla de materias primas que fue dosificada en el paso anterior es triturada mediante molinos rotatorios para garantizar su total homogeneización y así obtener una distribución de tamaños de partícula óptima para que las diferentes materias primas interactúen adecuadamente en las etapas posteriores del proceso. Esta homogeneización y trituración se realiza en suspensión acuosa, posteriormente se almacena en cisternas y se bombea al atomizador cuya función es evaporar el agua de la mezcla, dando como resultado una materia prima conocida como barbotina, que es un material esférico y hueco ideal para el prensado.

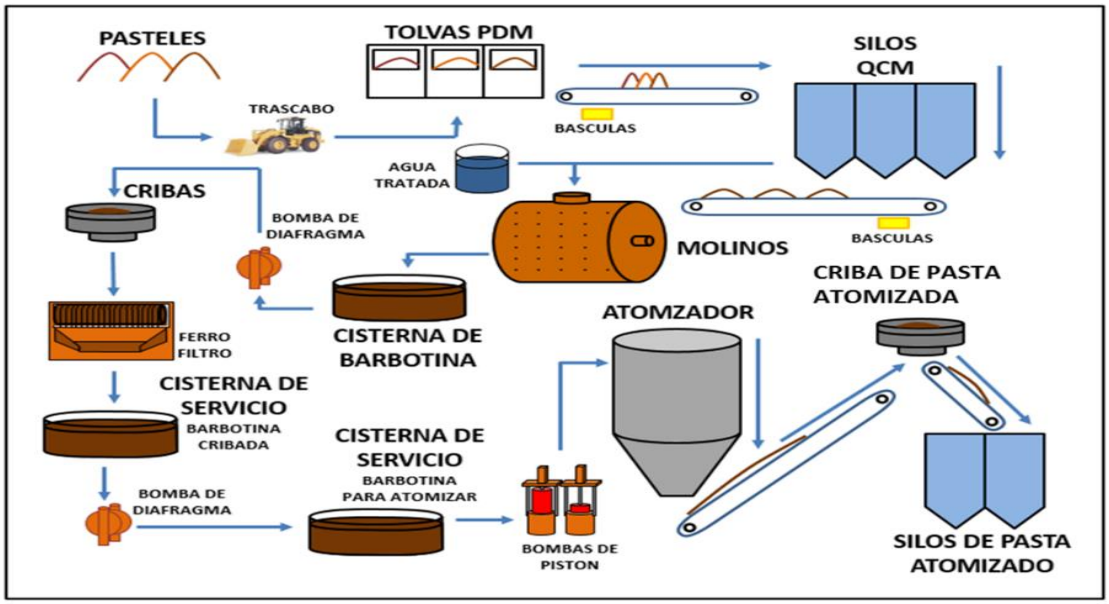


Figura 7 - Proceso PDM. Fuente (Keramika, 2016)

3. **PRENSADO:** Es el proceso de compactación y conformación del polvo cerámico (también llamado barbotina), mediante el cual es sometido a un prensado mecánico homogéneo de hasta 500kg/cm², mismo que le da la forma final a la loseta manufacturada. Es posible regular el espesor de las baldosas y el grabado o relieve mediante el cambio de matricería.

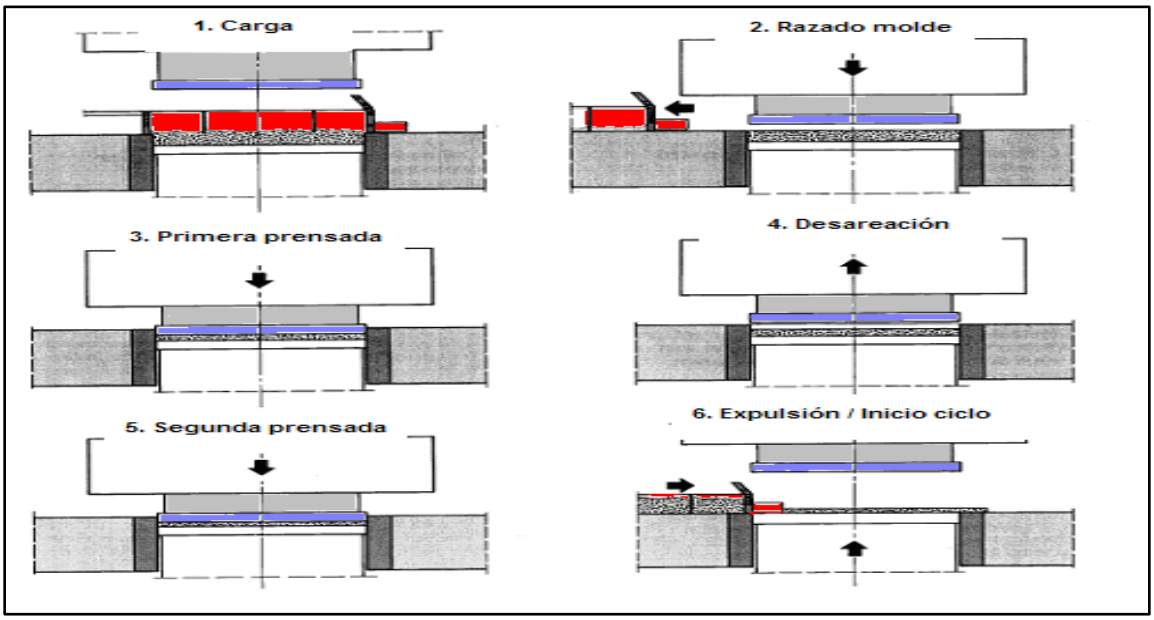


Figura 8 - Proceso de prensado en seco. Fuente (Keramika, 2016)

4. **SECADO:** Es el proceso al que se someten las baldosas prensadas para reducir la cantidad de agua y aumentar la temperatura de las piezas, de esta manera se asegura que los procesos posteriores de esmaltado y cocido se realicen adecuadamente. Cabe mencionar que es un proceso bastante eficiente ya que la perdida de agua se realiza de manera homogénea en la totalidad de la superficie de la pieza lo cual evita posibles defectos o rotura en los procesos siguientes.

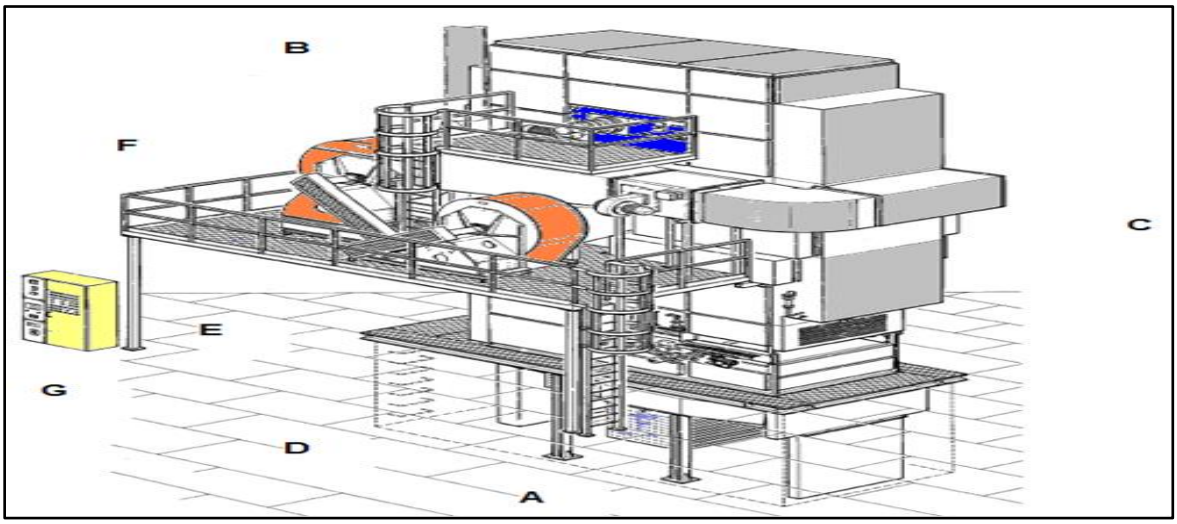


Figura 9 - Secador de tipo vertical. Fuente (Keramika, 2016)

5. **ESMALTADO Y DECORADO**: Una vez que las baldosas cumplen el tiempo establecido para el secado, son enviadas mediante cintas transportadoras hacia las líneas de esmaltado en las cuales pasan por una capa de engobe la cual ayuda a disminuir la porosidad de la cara que se va a esmaltar, posteriormente pasa por varias capas de esmalte (antes y después del decorado) las cuales se llevan a cabo de manera automática mediante técnicas como aspersión, cascada, nebulización, impresión mediante rodillos, impresión digital etc..

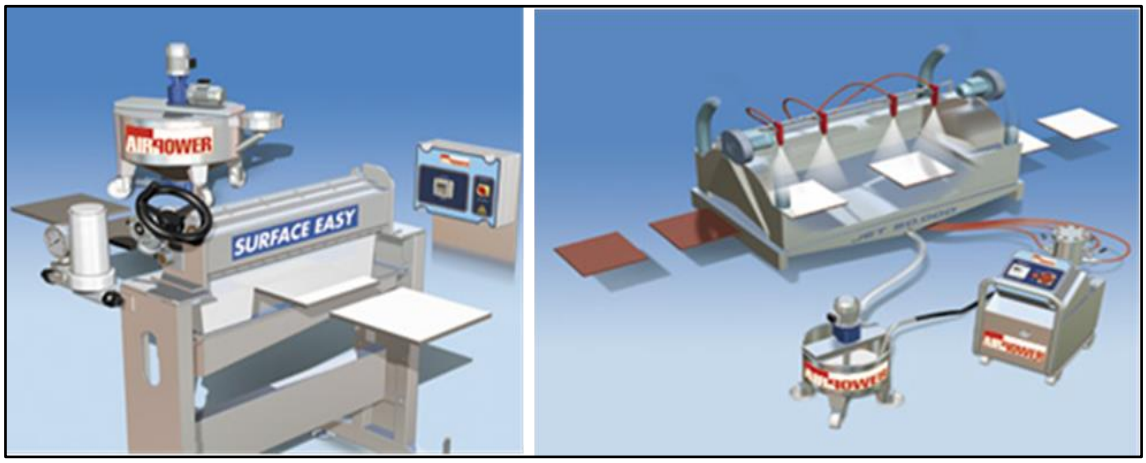


Figura 10 - Esmaltado para baldosas cerámicas. Fuente (Keramika, 2016)

6. **COCCIÓN**: Las baldosas esmaltadas son trasladadas al horno mediante un proceso de carga y descarga en el cual intervienen vehículos guiados por láser (LGV: Laser Guided Vehicle). Una vez introducidas al horno, las baldosas son sometidas a temperaturas superiores a los 1100 °C, mediante este proceso de cocido el producto adquiere las características necesarias para considerarse como producto final o producto terminado. Una vez que el material sale del horno se transporta hacia el buffer de carga, en el trayecto las baldosas pasan por guías metálicas, centradores neumáticos, separadores de piezas y quebradores neumáticos para evitar el paso de piezas con defectos estructurales al proceso siguiente.

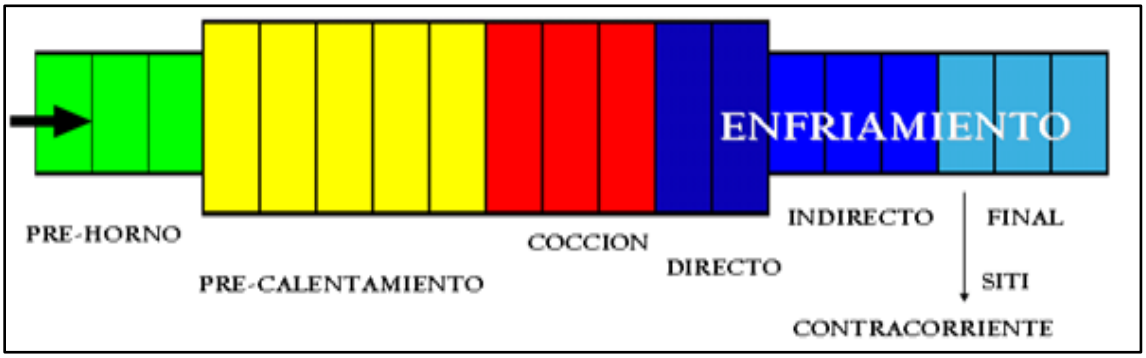


Figura 11 - Esquema general de un horno a rodillos. Fuente (Keramika, 2016)

7. **CLASIFICACIÓN FINAL:** El producto cocido es trasladado hacia las clasificadoras en las cuales el producto cocido es seleccionado como primera calidad, segunda o desperdicio tomando en cuenta el aspecto superficial del producto y sus medidas en cuestiones de planitud y largura. Posteriormente se empaca y embala para finalmente entregarse al almacén de embarques para su disposición final.

Figura 12 - Línea de clasificación y empaque. Fuente (Keramika, 2016)

8. **PROCESO DE CARGA – TRANSPORTE – DESCARGA DE PRODUCTO COCIDO:**

El procedimiento tradicional de transporte de las baldosas después del horneado hacia las líneas de selección es por medio de cintas transportadoras motorizadas conformadas por flejas, poleas y bandas de distintos materiales. La problemática que se tiene con este sistema de transporte es que el flujo del material depende de la continuidad del proceso de selección, es decir, mientras la línea de selección se mantenga trabajando de manera normal, el material seguirá fluyendo de la misma manera. En caso de alguna falla en el proceso de selección o de algún paro programado por necesidades de producción o mantenimiento, el material debe entarimarse manualmente por los operadores de la salida del horno, teniendo como consecuencia un riesgo para los operadores por la manipulación del material a altas temperaturas, así como la generación de desperdicios en el producto.

Figura 13 - Proceso de transporte continuo. Fuente: Elaboración propia

En el año 2017, se añadió un proceso intermedio entre el horneado y la selección al cual definiremos cómo Proceso de Carga – Transporte – Descarga de producto cocido, el cual consiste en la agrupación del material para ser almacenado en contenedores, transportado por sistemas autónomos hacia las líneas de selección y posteriormente descargado y clasificado. A continuación, se describe el proceso brevemente:

- Se forman paquetes de piezas que a su vez conforman una cama o estrato, una vez conformado un estrato se carga mediante el uso de una plancha que funciona por succión y se deposita en un contenedor metálico en el cual el material es almacenado.

- Al llegar a una estiba máxima de 70 estratos el contenedor es retirado del buffer de carga mediante un LGV y llevado hacia un punto de depósito en el cual el contenedor esperará hasta que sea solicitado en el área de clasificación.
- Nuevamente mediante el uso de un LGV el material es transportado hacia la clasificadora en donde el contenedor es descargado de manera similar al proceso de carga, uno de los puntos a considerar es la configuración de los grupos de rodillos y la cinta transportadora que va hacia el banco de selección, ya que para cada formato (ya sea cuadrado o rectangular) se deben regular las velocidades para disminuir al máximo el choque del material con las guías metálicas, así como del material entre sí.

En la siguiente imagen se presenta un ejemplo del proceso de carga y transporte del producto cocido.

Figura 14 - Proceso de carga y transporte. Fuente: Elaboración propia

Con la implementación del proceso de Carga y transporte de producto cocido, se logró reducir considerablemente la cantidad de metros cuadrados (m^2) que se bajan a granel en la salida del horno derivados de los paros en las clasificadoras, ya que ahora solamente se baja material a granel en caso de que ocurra una falla en el buffer de carga o en la cinta transportadora, situación que ocurre con poca frecuencia.

Otra de las ventajas que ofrece este proceso es que el material que se baja a granel en la salida del horno se puede alimentar directamente en la línea de la cargadora, de una manera fácil y segura, sin la necesidad de detener la producción en la clasificadora.

1.1.3 CARACTERISTICAS FISICAS DE MATERIALES CERAMICOS

Los materiales cerámicos (del griego ¨keramos¨) son producto del cocimiento de tierras arcillosas previamente moldeadas. Por la necesidad del hombre de adaptarse al ambiente en que vive y utilizar las cosas que lo rodean, el ladrillo hizo su aparición en la antigüedad en todos aquellos países en los que faltaba la piedra y abundaba la arcilla.
La técnica de cocer arcillas para producir ladrillos y baldosas tiene más de 4000 años. Se basa en que los suelos arcillosos (que contienen entre 20 y 50% de arcillas) experimentan reacciones irreversibles, calentándolos a 850-1000 °C, en los cuales las partículas se entrelazan mediante un material cerámico vidrioso.

Arcilla:
Producto de la descomposición de rocas sedimentarias, por lo que su variedad es muy amplia. Para rocas sedimentarias in situ, arcillas puras, y para rocas sedimentarias de arrastre, arcillas impuras. Consiste en un silicato de alúmina hidratado, de estructura laminar con partículas de dimensiones variables entre 2 y 20 micras.

a) Magras: 10 al 20 % de alúmina

Son las que contienen una excesiva cantidad de arena, se secan con mayor rapidez, se contraen menos y se funden a menor temperatura que las grasas. Los productos resultantes de esta arcilla son productos porosos y quebradizos.

b) Grasas: 25 al 40 % de alúmina

Tienen escasez de arena, se contraen mucho y tienen un alto grado de plasticidad. Los productos resultantes son grasos al tacto. Según la proporción de hierro las arcillas se clasifican en 3 grupos que se distinguen según su coloración después del cocido:

a) Color blanquecino: Arcillas con moderada proporción de hierro.
b) Color rojo: Arcillas con poca alúmina ricas en hierro.
c) Color rojo claro: Arcillas con poca alúmina, ricas en hierro y cal.

Las propiedades físicas de los materiales cerámicos dependen de su propia naturaleza, algunas pueden ser medidas y cuantificadas a través de ensayos y/o pruebas de laboratorios. Es muchas de estas pruebas se hallan normalizadas y cuentan con protocolos exactos que describen la forma de desarrollarlas y llevarlas a cabo.

- Permeabilidad.

Es la propiedad que permite a un fluido moverse en el interior de un cuerpo bajo la influencia de una diferencia de presión. En general un material de baja porosidad es también de baja permeabilidad, pero no se conocen leyes físicas que relacionen ambas propiedades.

- Absorción del agua.

Es la proporción de poros que se llenan de agua cuando el material se humedece.
Este ensayo es fundamental a los efectos de clasificar los distintos tipos de materiales cerámicos e influye sobre otras características de estos (resistencia al congelamiento, entre otros). Consiste en la inmersión de la pieza en un recipiente con agua, con presión estipulada, y llevar a punto de ebullición por un tiempo predeterminado. La pieza es luego escurrida y secada superficialmente a los efectos de ser pesada, y medir así el porcentaje de variación de peso sufrido contra el peso de la misma pieza totalmente seca.

- Resistencia a la abrasión

Consiste en someter a una probeta de material a la acción abrasiva conjunta de una rueda con polvo de corindón, luego de un tiempo determinado (200 revoluciones) se procede a medir el hueco dejado en el material, en mm3 a menor volumen del material removido, mayor resistencia del material ensayado.

- Resistencia a la heladicidad

En porosos puede generar deterioro, para esto se realizan ensayos que miden la resistencia de una probeta ante heladas y deshielos.

1.1.4 DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN DE LAS BALDOSAS CERÁMICAS

La norma **ISO 13006-2018: Baldosas cerámicas. Definiciones, clasificación, características y marcado** contempla las definiciones que a continuación se detallan.

- **Baldosas cerámicas:** Placas de poco grosor de arcilla y/u otras materias generalmente utilizadas como revestimientos de pisos y paredes, usualmente moldeadas por extracción (A) o prensado (B) a temperatura ambiente pero también pueden ser moldeadas por otros procesos (C) seguidamente son secadas y posteriormente cocidas a suficiente temperatura para que se desarrollen las propiedades requeridas; las baldosas pueden ser esmaltadas (GL) o no esmaltadas (UGL) y son incombustibles e inalterables por la luz.

- **Esmalte:** Cubierta Vitrificada que es impermeable.
- **Superficie engobada:** Cubierta a base de arcilla con un acabado mate que puede ser permeable o impermeable
- **Superficie pulida:** Superficie de una baldosa no esmaltada a la cual se le ha dado un acabado brillante por pulido mecánico como la última etapa de fabricación.
- **Baldosa extruida:** (designada como A): Baldosas cuyo cuerpo es moldeado en estado plástico un extrusor, la columna obtenida se corta en baldosas de dimensiones predeterminadas
- **Baldosas prensadas en seco:** (designada como B): Baldosas formadas por un cuerpo de una mezcla perfectamente molida y moldeada en moldes de alta presión.
- **Baldosas fabricadas por otros procesos:** (designadas como C): Baldosas fabricadas por otros procesos que los conceptuales normales.
- **Espaciadores:** Proyecciones que están dispuestas a lo largo de ciertos lados de las baldosas de tal manera que cuando dos baldosas se colocan juntas, en línea, los espaciadores en los lados adyacentes separan las baldosas a una distancia no menor que el ancho especificado de la junta
- **Absorción de agua:** (símbolo E): Porcentaje de agua por masa, medido de acuerdo con lo especificado en la NTE INEN 651.
- **Dimensión Nominal**: Dimensión usada para describir el producto.

CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

- **Baldosas cerámicas de pasta roja:** baldosas fabricadas con arcillas que, durante el proceso de cocción, adquieren coloración que va desde el amarillo paja hasta el rojo o marrón intensos, en función del contenido de óxido de hierro y, en menor medida, óxido de manganeso.
- **Baldosas cerámicas de pasta blanca:** baldosas fabricadas a partir de arcillas que no contienen óxidos colorantes en su composición y que, por ello, dan una coloración blanca o blancogrisácea después de la cocción.
- **Baldosas cerámicas más o menos porosas:** en función del contenido de carbonatos de las arcillas que intervienen en la composición y, secundariamente, de los procesos de conformación y de cocción. Las arcillas gresificables, con un muy bajo contenido en carbonatos, permiten la cocción del cuerpo cerámico a temperaturas superiores a los 1.100 ºC, siendo determinante para la obtención de productos muy poco o nada porosos (greses en general y gres porcelánico en particular).

CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL MODELADO

- **Baldosas extrudidas (A):** baldosas obtenidas por procedimiento de moldeo o conformación por el que una pasta plástica (barro de arcilla), normalmente a base de una composición de arcillas, se hace pasar a presión a través de una boquilla, mediante un tornillo sin fin en un eje que gira centralmente dentro de un cilindro de acero, o mediante cuchillas montadas oblicuamente. El conjunto formado por el tornillo sin fin y la boquilla recibe el nombre de extrusora. A las baldosas cerámicas modeladas por extrusión se les denomina baldosas extrudidas. Dentro de este tipo de baldosas tenemos las baldosas extrudidas dobles, aquellas que salen de la extrusora en forma de una cinta doble y que, una vez cortadas secadas y cocidas, se separan mediante un golpe para convertirlas en dos baldosas individuales).
- **Baldosas prensadas (B):** baldosas consecuencia de adoptar el método de modelado que parte de una composición de arcillas en estado pulverulento o granular, con una distribución estudiada del tamaño del grano y un contenido bajo en humedad (inferior al 7%). El prensado mecánico de este polvo con humedad da como resultado la baldosa prensada. A este proceso de modelado se le llama prensado en seco o semiseco.
- **Baldosas obtenidas por otros métodos de conformación o modelado (C):** las obtenidas por conformación en estado plástico del barro (bien manual o mecánica), que es el método habitual de obtener las baldosas de tierra cocida de producción más o menos artesanal o fabricadas industrialmente con vocación de rusticidad. El método de prensado en estado plástico también se aplica a molduras y cenefas volumétricas.

CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN A LA COCCIÓN

- **Baldosas de monococción:** proceso de fabricación de baldosas cerámicas que solamente incluye un único proceso de cocción, aunque posteriormente puedan recibir otros procesos térmicos para la cocción de decoraciones a baja temperatura (menos de 900 ºC).
- **Baldosas de bicocción:** proceso de fabricación de baldosas cerámicas que incluye una primera cocción del soporte y una segunda cocción para el esmalte o esmaltes y decoraciones.
- **Baldosas de tercer fuego:** piezas que reciben decoraciones y otros tratamientos superficiales que se someterán a cocciones complementarias por debajo de la temperatura máxima de cocción de la pieza base.

CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA APLICACIÓN DE ESMALTES

- Baldosas esmaltadas (GL): baldosas cerámicas revestidas en su cara vista por uno o varios vidriados, también denominados esmaltes.
- Baldosas no esmaltadas (UGL): baldosas cerámicas cuya cara vista no incluye esmaltes, parcial o totalmente. Dentro de esta familia se incluyen las baldosas de tierra cocida, los greses rústicos no esmaltados y el gres porcelánico.

CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN AL TRATAMIENTO MECÁNICO DEL PRODUCTO ACABADO

- **Baldosas pulidas:** cuando la superficie de la cara vista ha sido sometida a un proceso complejo de abrasión, con una batería de muelas de diferente tamaño de grano, para obtener una superficie con brillo especular. Se aplica tanto sobre el cuerpo cerámico (gres porcelánico) como sobre el esmalte.
- **Baldosas rectificadas:** cuando las dimensiones de la baldosa salida del horno son reducidas, mediante un proceso mecánico de corte y obtención de bisel en las aristas, a un formato de precisión, con variaciones inferiores a ± 0,5 mm en la longitud y anchura.
- **Baldosas obtenidas por corte hidráulico:** para obtener formatos complejos que en algunas ocasiones pueden suministrarse premontados en malla.

CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE SU DESTINO

Las baldosas cerámicas se pueden clasificar en función de su lugar de destino en:

- **Revestimiento cerámico:** aquellas baldosas cerámicas que revisten una pared u ornamento. En general, se debe denominar así a aquellas baldosas cerámicas que van destinadas a un lugar que no va a ser pisado.
- **Pavimento cerámico:** conjunto de baldosas cerámicas que reviste un suelo y que, además, va a ser pisado. Por su grosor, formato y características posee una resistencia mecánica apropiada para ser destinada a un espacio pisable.
- **Fachadas cerámicas:** son las baldosas cerámicas que revisten fachadas de edificios. Presentan unas características apropiadas para ser utilizadas en exterior y soportar heladas y presiones de viento.

CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA

Moldeo de conformación	Capacidad de absorción de agua (E)			
	Grupo I E ≤ 3%	Grupo II_a 3% ≤ E < 6%	Grupo II_b 6% ≤ E < 10%	Grupo III E>10%
A Extruido	Grupo AIa E ≤ 0,5% EN 14411 Anexo M	Grupo AIIa-1 (*) EN 14411 Anexo B	Grupo AIIb-1 (*) EN 14411 Anexo D	Grupo AIII EN 14411 Anexo F
	Grupo AIb 0,5 < E ≤ 3% EN 14411 Anexo A	Grupo AIIa-2 (*) EN 14411 Anexo C	Grupo AIIb-2 (*) EN 14411 Anexo E	
B Prensado en seco	Grupo BIa E ≤ 0,5% EN 14411 Anexo G	Grupo BIIa EN 14411 Anexo J	Grupo BIIb EN 14411 Anexo K	Grupo BIII(**) EN 14411 Anexo L
	Grupo BIb 0,5 < E ≤ 3% EN 14411 Anexo H			

Tabla 1 - Clasificación de baldosas por absorción de agua. Fuente (Lamosa, 2019)

Donde:

(A) se refiere a **baldosa extruida**, **(B)** a **baldosa prensada en seco** y **(E)** es **absorción de agua** que refiere al porcentaje de masa de agua en la estructura de la baldosa cerámica.

Ia , Ib, IIa , IIb, III son los grupos y subgrupos de producto en función de la capacidad de absorción de agua (E), expresada en % de peso de agua impregnada respecto al peso de la baldosa seca.

De este cuadro conviene retener que la primera letra corresponde al tipo de moldeo [A para la baldosa extrudida, y B para la baldosa prensada]; y el número romano y el subíndice alfabético [I a , I b, IIa , IIb, III], representan la capacidad de absorción de agua E dentro de un intervalo, tal como hemos descrito anteriormente. Además, para las baldosas extrudidas de los grupos de absorción IIa y IIb se prevén dos subgrupos, atendiendo a diferentes especificaciones para sus características técnicas: › AIIa-1, AIIb-1, para los niveles más exigentes de esas características. › AIIa-2, AIIb-2, para los niveles menos exigentes.

1.2 DEFINICION Y DELIMITACIÓN

1.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Planta Keramika es una de las 9 plantas de revestimientos cerámicos de Grupo Lamosa en la República Mexicana, se encuentra ubicada en el municipio de San Felipe Ixtacuixtla, Tlaxcala. Cuenta con una capacidad de producción anual de 15 millones de metros cuadrados y se caracteriza por contar con procesos lo suficientemente flexibles para la manufactura de formatos cuadrados y rectangulares de 18x55cm, 40x40cm, 33x33cm, 20x90cm y 20x120cm, que pueden ser utilizados como recubrimiento para pisos o muros.
Keramika tiene cuatro indicadores en los que se basan los procesos productivos:

- Volumen de producción: 1 250 000 m² mensual.
- Calidad: 97%
- Desperdicio: 5%
- Seguridad: 1 día más sin accidentes incapacitantes.

Actualmente se están llevando a cabo proyectos de mejora con el objetivo de minimizar el desperdicio cocido, llevando este indicador del 5% anual (correspondiente a 750,000 m²) a 3.5% anual (525, 000m² de desperdicio anual).
En cada uno de los procesos de transformación existen variaciones pueden provocar alguno de los 24 defectos identificados que provocan el desperdicio cocido, es decir, el desperdicio generado después del proceso de horneado, dichos defectos se encuentran identificados en la siguiente tabla:

INSPECCIÓN								
CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIÓN 1a.	2a.	FRECUENCIA	CANTIDAD DE MUESTRA	RESPONSABLE	EQUIPO DEINSPECCIÓN	NUMERO DEREGISTRO	FORMA DE CONTROL Y/Ó REACCION EN CASO DE FALLA
Ampolla	Cero	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Burbuja	Cero	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Barro pegado	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
DAF	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
DDF	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Esmalte encojido	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Estria	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Fuera de Tono	Cero	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Gota de aceite/agua	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Gota de esmalte	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		Avisar al supervisor
Grieta	Cero	Cero	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Granilla F/ de lugar	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL	FP-700	para (Reinspección o
Laminado	Cero	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Mal esmaltado	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		Degradación).
Mal decorado	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Mancha metálica	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Picado	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Punto negro/verde	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Balsa/Pozo	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Ondulado	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Piedra de esmalte	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Piedra de horno	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Raspado	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		
Salpicado	No visible 1 mt.	Visible a 1 mt.	CONTINUA	100%	OPERADOR	VISUAL		

Tabla 2 - Inspección y disposición de las baldosas. Fuente (Lamosa, 2019)

1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El presente proyecto se limita al análisis de tres procesos en los cuales se ha detectado la generación de desperdicio cocido, mismos que se presentan en la siguiente tabla.

PROCESO	DESCRIPCIÓN	DESPERDICIO GENERADO
Carga de contenedores del producto cocido en forma de estratos.	El material sale de los hornos y es transportado por medio de bandas en línea recta hacia los buffers de carga cuya función es agrupar el material en estratos, mismos que son apilados por una plancha que los succiona y forma uno sobre otro con un máximo de 70 niveles por contenedor (también llamado Pancon).	Desportillado y piezas rotas generados en la línea de transporte que va de la salida del horno al buffer de carga causados por guías metálicas, bandas o poleas en mal estado. Piezas quebradas causadas por la plancha de aspiración, al soltar las piezas cargadas sobre otras piezas entrantes o ya depositadas en el contenedor.
Transporte (cargadora – LGV - descargadora)	Cundo un contenedor llega a los 70 niveles de carga permitidos, se genera una señal para que el LGV lo retire del buffer y lo lleve hasta el punto de depósito asignado en el cual el material permanece en espera de ser requerido en algina de las clasificadoras, a su vez deposita un contenedor vacío. En el momento en que una clasificadora se queda sin material, el LGV toma el contenedor requerido para llevarlo hasta el punto de depósito.	Desportillado y piezas rotas por las irregularidades en el piso por el que se circula el carro de transporte.
Descarga en línea de selección	El material se descarga hacia la línea de clasificación en la cual se separa por calibres dependiendo de las medidas (largo y ancho) de las piezas, por planitud y por apariencia (2ª calidad y desperdicio). Una vez clasificado se empaca y se paletiza y finalmente se colocan esquineros y flejes para asegurar el transporte hacia el área de entrega.	Desportillado y piezas rotas generados en la línea de transporte causado por guías metálicas, bandas o poleas en mal estado. Piezas rotas causadas por fallas en los equipos de medición (el equipo dispone material OK a desperdicio por fallas mecánicas) Piezas rotas causadas por fallas en el paletizador, tira las cajas en el proceso de estibado.

Tabla 3 – Delimitación del problema. Fuente: Elaboración propia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

Optimizar los procesos de producción de revestimientos cerámicos posteriores al horneado utilizando la metodología de los siete pasos para reducir el porcentaje de desperdicio cocido.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

1. Diagnosticar la situación actual.
2. Establecer una metodología mediante la cual se cuantifique y analice el desperdicio generado en los procesos definidos en el punto anterior.
3. Implementar las mejores prácticas para llevar a cabo los procesos definidos.
4. Estandarizar los procesos llevando a cabo las mejores prácticas.
5. Definir acciones que garanticen la implementación de las mejoras.

1.4 JUSTIFICACIÓN

En el último año, la disminución de las ventas del producto ha provocado el paro de las operaciones en alguno de los 5 hornos de planta Keramika (paros periódicos en cada uno de los hornos).

Este es el motivo principal por el cual se llevará a cabo el presente proyecto de investigación ya que se tiene la necesidad de disminuir costos de producción en la empresa, específicamente aquellos causados por el desperdicio de producto cocido. Al tener una producción anual de 15 millones de metros cuadrados, tener un porcentaje de desperdicio del 5% anual equivale a 750 mil metros cuadrados.

Mediante la implementación de este proyecto se buscará optimizar los procesos de carga, transporte, descarga y clasificación final en los cuales se han identificado desperdicios por desportillado y piezas rotas. También es importante para el logro de los objetivos la participación del personal operario, del personal de mantenimiento y los supervisores de cada uno de los procesos mencionados, por lo que se buscará establecer métodos de trabajo que aseguren la aplicación de las mejores prácticas en la búsqueda de la disminución del desperdicio cocido.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 ESTADO DEL ARTE

Mejora continua es el conjunto de acciones dirigidas a obtener la mayor calidad posible de los productos, servicios y procesos de una empresa. Esto se traduce en reducción de costes y tiempo, dos factores básicos en cualquier estrategia de mejora continua que persiga el crecimiento de una organización.

El resultado de aplicar procesos de mejora continua será un producto o servicio mejorado, más competitivo y que responda mucho mejor a las exigencias del cliente.

Los beneficios de la mejora continua en la empresa son: Incremento del rendimiento y motivación del equipo de trabajo, aumento de la productividad en las empresas, reducción de costos y de plazos de ejecución, optimización de procesos, resultados cada vez más eficaces, productos y servicios mejor dirigidos al cliente final con un mínimo de errores.

2.1.1 EL CONCEPTO LEAN MANUFACTURING

El desarrollo de modelos de gestión que llevaron al mejoramiento continuo y flexible de las formas de producción, dio origen a mediados del siglo pasado al Sistema de Producción Toyota (TPS: Toyota Production System), el cual bajo la premisa de producir lo necesario, en las condiciones requeridas y en el momento oportuno, integrado con la participación de los colaboradores y centrando esfuerzos en actividades que no aportan valor para el cliente, transmite beneficios sostenidos en: calidad, productividad, seguridad y oportunidad; agrupando una serie de técnicas para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial

El modelo desarrollado bajo la dirección del ingeniero Taichi Ohno, se concentra en un "enfoque de sentido común", buscando reducir los costos, a través de la eliminación de residuos y la implementación de diferentes técnicas de mejoramiento, centrados en la localización de las principales fuentes de desperdicios, influyendo sustancialmente en el desempeño operativo de las plantas industriales.

Las técnicas de mejoramiento apuntan a crear una cultura de mejora continua; así que algunas como el Heijunka (nivelación de la producción de acuerdo a la demanda), trabajo estándar, TPM (mantenimiento productivo total) y VSM (mapeo de la cadena de valor), operan como una base estructural que soporta la aplicación de otras, y que se convierten en una filosofía, que corresponde a una nueva forma de pensar y de administrar las

compañías, que beneficia a todos desde el operario de la línea de producción hasta la dirección general .

En la Figura 16 se representa el TPS como una casa, que inicia desde la parte superior con las metas de mejor calidad, costos bajos, y tiempos de entrega más cortos, soportado por dos pilares fundamentales como: Justo a Tiempo (JIT: Just In Time), cuyo objetivo es producir la pieza correcta, en la cantidad correcta y en el momento requerido, y el Jidoka (automatización con toque humano) que se enfoca en establecer los parámetros para evitar que los defectos que se presenten se trasladen a los siguientes procesos; pero en el centro de ambos pilares se encuentra la mejora continua asociada a la participación de la gente, como el eje que articula ambos pilares, para finalmente y como se expone en el anterior párrafo la presencia de varias técnicas que dan la estabilidad a todo el sistema y que interactúan permanentemente creando una filosofía de solución permanente.

Figura 15 - TPS y la Casa Lean. Fuente (Cardona B. Jhon J. 2013)

Los conceptos TPS y Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) se utilizan de manera intercambiable, por lo cual la definición de ambos modelos por lo general aborda un amplio conjunto de técnicas que, al combinarse y madurarse, permiten reducir y eliminar los siete desperdicios; estos conceptos contienen procesos de mejoramiento continuo (Kaizen) y sistemas a pruebas a errores (Poka Yoke), entre otros.

Es posible definir al concepto de Lean Manufacturing como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o excesos, entendiendo como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero sí costo y trabajo; su esencia radica en descubrir continuamente en toda la empresa oportunidades de mejora ocultas, pues siempre habrá desperdicios susceptibles de ser eliminados.

2.1.2 LOS PRINCIPIOS DE LA MANUFACTURA ESBELTA

Los principios del Lean Manufacturing se aplican en toda la cadena de valor, desde el proceso de pedidos a proveedores hasta la distribución y entrega del producto al cliente. En todas las etapas es posible eliminar desperdicios, mejorar la calidad, reducir los costes y aumentar la flexibilidad, es así como se identifican cinco principios claves para implementarlo:

Principio 1: Definir el valor del producto, es decir qué agrega valor para el cliente dentro de la operación de la empresa para así producir lo que el cliente realmente percibe como valor.

Principio 2: Definir e identificar el flujo del proceso, conociendo las operaciones sobre las cuales se busca cumplir con los requisitos del cliente. Cada operación, función o actividad debe añadir valor. El objetivo es identificar todas aquellas actividades que no agreguen valor al proceso, con el fin de minimizarlas, modificarlas o eliminarlas del proceso de trabajo.

Principio 3: Crear flujo continuo o hacer que el producto fluya sin interrupciones. Los materiales deben pasar de un proceso a otro al ritmo del tiempo que marca el cliente. Hay que conseguir que el producto fluya continuamente agregando valor.

Principio 4: Introducir el sistema de Jalar (Pull) en el proceso. Una vez se ha fijado el esquema del flujo continuo, hay que introducir un sistema donde el cliente "jale" lo que requiera, siendo el eje central del proceso y quien establece las condiciones para las entregas del producto, dando en todo momento una respuesta rápida a sus peticiones.

Principio 5: Esforzarse por la perfección y gestionarla. Es necesario establecer actividades para mejorar, ya que en el enfoque Lean, la perfección no sólo significa librar de defectos y errores los procesos y productos, también implica la entrega a tiempo de productos que cumplan con los requerimientos del cliente, a un precio justo y con la calidad especificada. La gestión de la perfección es una batalla continua para eliminar el MUDA (desperdicios en producción), que nunca tiene fin, ya que reducir tiempos, costes, espacio, errores y esfuerzos inútiles es una acción permanente que se debe llevar a cabo.

Figura 16 - Técnicas del Lean Manufacturing. Fuente (Cardona B. Jhon J. 2013)

2.1.3 DEFINICIÓN DEL DESPERDICIO O MUDA EN EL TPS

El desperdicio es toda actividad que no añade valor para el cliente, que no transforma el producto, ni contribuye visiblemente a la consecución del bien final, que además consume recursos y por tanto genera un sobrecosto para el productor que de ser posible debe ser reducida o eliminada.

Muda es una palabra japonesa que significa “inutilidad; ociosidad; desperdicio; superfluidad” y es un concepto clave en el TPS o como uno de los tres tipos de residuo (muda, mura, muri). Reducir los residuos es una manera efectiva de aumentar la rentabilidad. Toyota escogió estas tres palabras que comenzaban con el prefijo “mu” que es reconocido en Japón como referencia a un programa o campaña de mejora de un producto.

Un proceso agrega valor al producir bienes o proveer un servicio por el que un cliente pagará. Un proceso consume recursos y los residuos ocurren cuando se consumen más recursos de los necesarios para producir los bienes o la prestación del servicio que el cliente realmente quiere. Las actitudes y herramientas del TPS sensibilizan y dan nuevas perspectivas para identificar los residuos y las oportunidades no explotadas asociadas con la reducción de residuos.

En la Tabla 4 se describen los 7 desperdicios identificados por Taiichi Ohno y establecidos en el TPS.

Tipo de desperdicio	Descripción
Sobreproducción	Producir piezas antes de que sean requeridas o en una cantidad mayor a la necesaria, genera otros problemas como la necesidad de espacio para guardar estos productos (inventario)
Esperas	Tiempo muerto provocado por el paro de las actividades del operador o de la máquina en espera de que realice una actividad anterior necesaria para su proceso.
Transporte	El desperdicio de transporte ocurre al mover la materia prima, el producto en proceso y el producto terminado dentro de la planta y fuera de ella, se considera desperdicio ya que en su trayectoria no se le agrega valor al producto.
Reprocesos	Se presenta cuando se le agregan al producto procesos o materiales extra que no son requeridos por el cliente, no realizan ningún cambio en el producto y consumen recursos.
Inventarios	El inventario es toda la materia prima, productos en proceso y productos terminados que están en espera de ser procesados o vendidos, es el resultado de tener mayor cantidad de material necesario para satisfacer las necesidades inmediatas de la empresa
Movimiento	Este desperdicio se define como todos los movimientos que los operarios realizan y que no agregan valor al producto o servicio tales como buscar herramientas, tomar y mover materia prima, acomodar el material o producto terminado, entre otras actividades.
Defectos	Se trata de todos los productos que no cumplen con los requerimientos estéticos o de funcionalidad que el cliente ordena, ocasionando que el producto sea desechado o retrabajado, generando desperdicios al utilizar una cantidad mayor de recursos de los necesitados en un principio

Tabla 4 – 7 desperdicios del TPS. Fuente: Elaboración propia.

2.2 HERRAMIENTAS PARA LA DISMINUCIÓN DEL DESPERDICIO

2.2.1 METODOLOGÍA DE LAS 5´S

Las 5´s constituyen una disciplina para lograr mejoras en la productividad del lugar de trabajo mediante la estandarización de hábitos de orden y limpieza. Esto se logra implementando cambios en los procesos en cinco etapas, cada una de las cuales sirve de fundamento a la siguiente para mantener así sus beneficios en el largo plazo. El método de las 5´s representa una de las bases que enmarcan el inicio de cualquier herramienta o sistema de mejora. A continuación, se describe de cada uno de los pasos de esta herramienta, identificados por cinco palabras japonesas.

5´S	TRADUCCIÓN	DESCRIPCIÓN
SEIRI	SELECCIONAR	Seleccionar o clasificar objetos necesarios y aquellos no tan necesarios para realizar las actividades del día a día
SEITON	ORDENAR	Ordenar objetos necesarios en su ubicación pertinente.
SEISO	LIMPIAR	Limpiar todo el ambiente de trabajo, el área más limpia no es la que se limpia con mayor frecuencia, sino la que más limpia se mantiene.
SEIKETSU	ESTANDARIZAR	Estandarizar mediante métodos y señalización la organización del ambiente de trabajo.
SHITSUKE	DISCIPLINA	Mantener los métodos y estándares aplicados a través de la disciplina y la mejora continua.

Tabla 5 – Metodología de las 5´s. Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 JUST IN TIME (JIT)

Se entiende como just in time a la filosofía que busca la eliminación de todo lo que implique desperdició en el proceso de producción, desde las compras hasta la distribución.

Se basa en que tanto el material intermedio como los productos acabados deben estar en su sitio justo cuando sea necesario y no antes. Además, la cantidad de material intermedio, como de producto terminado, debe ser la justa para satisfacer las necesidades del cliente.

Por tanto, es un modelo productivo que se basa principalmente en la gestión o aprovisionamiento de los materiales del sistema productivo a través de un sistema Pull, es decir, el material debe aportarse en el momento y la cantidad que son requeridos para su consumo.

La filosofía justo a tiempo propone un punto de vista diferente: Identificar y evidenciar el problema, eliminar desperdicios, simplificar la producción y centrarse en la demanda

Los objetivos de la implementación del JIT son:

- Reducir los niveles de stock produciendo justo la cantidad que nos indica la operación inmediatamente posterior
- Disminución de inventarios de productos intermedios al mínimo; así se detectarán cuellos de botella y permitirán su mejora.
- Simplificación de toda la tarea administrativa del aprovisionamiento.
- Conseguir un flujo de producción nivelado y equilibrado.

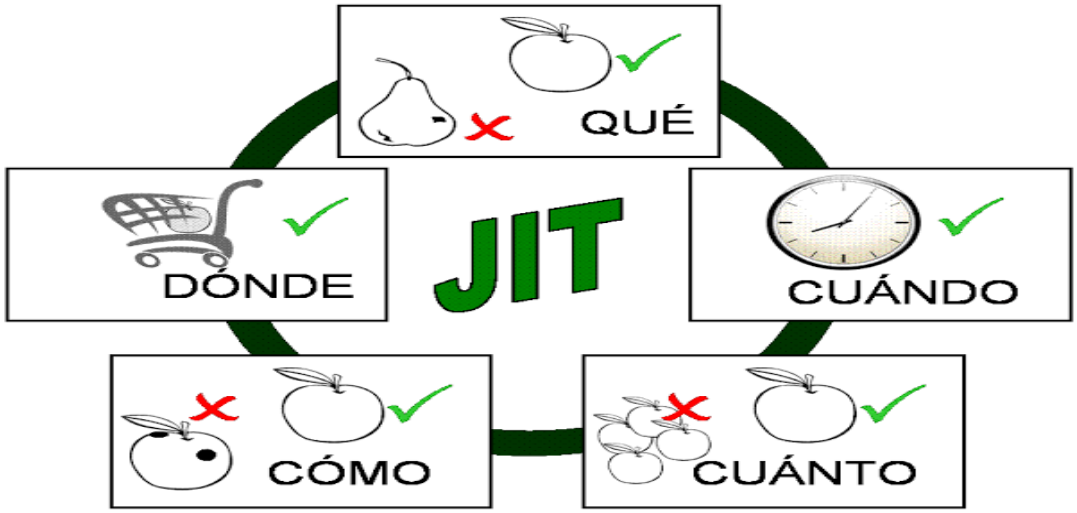


Figura 17 – Just In Time. Fuente: (Balliache, Leonardo 2015)

2.2.3 TQM (Total Quality Management): Gestión de la calidad total

La constante necesidad de aumentar la eficiencia de la producción, optimizar los plazos de entrega y reducir los desperdicios, conduce necesariamente a las empresas a adoptar estrategias que implican la mejora continua de sus procesos internos. Dentro de este contexto, en los años 50 en Japón, surgió el concepto de Calidad Total y Gestión de la Calidad Total (TQM o Total Quality Management).

El TQM es una de bases del Lean Manufacturing, inicialmente contribuyó con su enfoque para implementar una cultura empresarial colectiva de total compromiso con la eficiencia.

El concepto de control de calidad no es nuevo, en realidad siempre ha estado de la mano con la producción de procesos, lo que sí ha evolucionado es su aplicación. En un principio el control de calidad se aseguraba que los productos que no cumplían con las especificaciones necesarias no llegaran al cliente. Actualmente se debe evitar el retrabajo y

los desperdicios desde el momento de recibir los insumos del proveedor, ya que no deben ser aceptados si no cumplen con las especificaciones en su totalidad.

5 PRINCIPIOS CLAVE DEL TQM

Podemos sintetizar la gestión de calidad total en cinco principios clave para el éxito en su aplicación. Los principios son:

- Producir con calidad, a la primera: Esto implica una optimización de los procesos, reduciendo las pérdidas
- Enfoque al cliente: Condición similar al concepto de Lean, donde los procesos de producción están adaptados y orientados según la demanda de los clientes
- Adoptar un enfoque estratégico para mejorar los procesos: Adoptar una percepción de las tendencias actuales del mercado con el fin de alinearse con las nuevas exigencias del mercado
- Mejora continua: Concepto también similar a la metodología Lean, donde se puede adoptar herramientas tales como Kaizen, 5S, TPM en los procesos internos
- Fomentar la participación y el sentido de la igualdad de la cooperación entre los miembros de la organización: Crear condiciones para mantener a los empleados comprometidos y motivados para contribuir al proceso con propuestas de mejora.

2.2.4 KANBAN

Es un método que le facilita a la organización mantener el control de inventarios relacionado con la sobreproducción o la posible falta de abastecimiento de productos y partes. Este sistema se define mediante dos posibles usos. El primero es la activación de la producción, a través de una señal visual que permite conocer el momento preciso en que se debe continuar la producción con el fin de no encontrar acumulación ni déficit de producto. El segundo posible uso indica el movimiento de material a las estaciones de trabajo para reabastecer y así continuar la producción (Keaton, 1995). Comúnmente la referencia que indica al operador la ejecución de alguna de las labores es conocida mediante una tarjeta de señal.

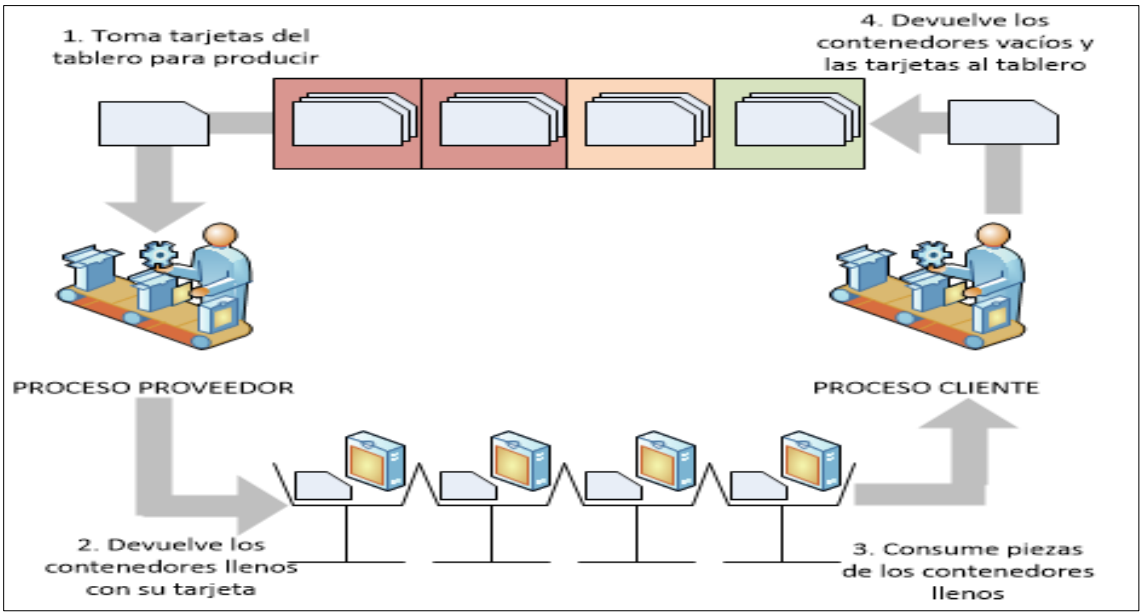


Figura 18 – Método KANBAN. Fuente (Salazar López, B. 2019)

2.2.5 SMED (SINGLE – MINUTE EXCHANGE OF DIE)

Es una herramienta para reducir los desperdicios en un sistema productivo. Se basa en asegurar que el tiempo de cambio de una herramienta sea realizada en menos de un dígito, es decir; menos de 10 minutos con el propósito de no obstruir el flujo continuo de las actividades.

Esta herramienta se realiza mediante cinco pasos: (1) eliminar condiciones de trabajo inapropiadas en el entorno, a través del uso de las 5´s, (2) reconocer mediante visitas las condiciones actuales en las que se desarrolla el proceso, (3) identificar actividades internas y externas (las que se realizan exclusivamente mientras los procesos se encuentren detenidos y las que se puede realizar de forma simultánea al proceso productivo);(4) convertir actividades internas en externas en la mayor cantidad posible, siempre y cuando no afecte el procedimiento.(5) El quinto paso consiste en estandarizar el procedimiento alcanzado.

2.2.6 POKA – YOKE

Poka-Yoke (a prueba de errores o fallos) es una herramienta que desarrolla mecanismos para alcanzar un estado de cero defectos y eventualmente eliminar las inspecciones de calidad, resultante de la falta de atención en operaciones repetitivas que dependen de vigilancia o memoria. El Poka-Yoke emplea tres funciones básicas contra los defectos: parada, control y aviso. Entre los ejemplos de esta herramienta para detectar o evitar defectos causados por errores humanos se encuentran los pines de guía de distintos tamaños, las alarmas y los switchs de límites, contadores y las listas de chequeo.

Figura 19 – Poka Yoke. Fuente (Truth J. & Noria C. 2019)

2.2.7 ANDON

Andon es una herramienta visual, que utiliza señales como luces, banderas, entre otras, para indicar alarma y alertar los problemas en la producción ya sea de calidad o del mismo proceso. Esta señal tiene como propósito reportar en cuanto se presenta una complicación y que esta se haga la respectiva retroalimentación lo más rápido posible y así evitar que la producción no cumpla con los requerimientos exigidos.

Figura 20 – ANDON. Fuente (Cervantes, Carmen 2018)

2.2.8 MÉTODO DE ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

El método de análisis de elementos finitos (FEA: The Finite Element Analysis), introducido originalmente por M. J. Turner (1956), es una poderosa técnica computacional para soluciones aproximadas a una variedad de problemas de ingeniería del "mundo real" que tienen dominios complejos sujetos a condiciones de contorno generales. FEA se ha convertido en un paso esencial en el diseño o modelado de un fenómeno físico en diversas disciplinas de ingeniería. Un fenómeno físico generalmente ocurre en un continuo de materia (sólido, líquido o gaseoso) que involucra distintas variables de campo, las cuales son diferentes de un punto a otro, por lo que poseen un número infinito de soluciones en el dominio.

FEA se basa en la descomposición del dominio en un número finito de subdominios (elementos) para los cuales se construye la solución aproximada sistemática, aplicando los métodos residuales variacionales o ponderados. En efecto, FEA reduce el problema a un número finito de incógnitas al dividir el dominio en elementos y al expresar la variable de campo desconocida en términos de las funciones aproximadas asumidas dentro de cada elemento. Estas funciones (también llamadas funciones de interpolación) se definen en términos de los valores de las variables de campo en puntos específicos, referidos como nodos. Los nodos generalmente se encuentran a lo largo de los límites de los elementos y conectan elementos adyacentes.

La capacidad de discretizar los dominios irregulares con elementos finitos hace que el método sea una herramienta de análisis valiosa y práctica para la solución de problemas de límite, inicial y de valor propio que surgen en diversas disciplinas de ingeniería.

El método de análisis de elementos finitos requiere los siguientes pasos principales:

- Discretización del dominio en un número finito de subdominios (elementos).
- Selección de funciones de interpolación.
- Desarrollo de la matriz de elementos para el subdominio (elemento).
- Ensamblaje de las matrices de elementos para cada subdominio para obtener la matriz global para todo el dominio.
- Imposición de las condiciones de contorno.
- Solución de ecuaciones.
- Cálculos adicionales (si lo desea).

Hay tres enfoques principales para construir una solución aproximada basado en el concepto de FEA:

Enfoque directo: este enfoque se utiliza para problemas relativamente simples, y generalmente sirve como un medio para explicar el concepto de FEA y sus pasos importantes.

Residuos ponderados: este es un método versátil, que permite la aplicación de FEA a problemas cuyo funcionamiento no se puede construir. Este enfoque utiliza directamente las ecuaciones diferenciales que gobiernan, como las de transferencia de calor y mecánica de fluidos.

Enfoque variacional: este enfoque se basa en el cálculo de las variaciones, que implica la extremidad funcional. Este funcional corresponde a la energía potencial en mecánica estructural.

En notación matricial, el sistema global de ecuaciones se puede convertir en **K u = F,** donde K es la matriz de rigidez del sistema, u es el vector de incógnitas, y F es el vector de fuerza. Dependiendo de la naturaleza del problema, K puede depender de u, es decir, K = K (u) y F puede depender del tiempo, es decir, F = F (τ).

Existen programas capaces de simular problemas en una amplia gama de disciplinas de ingeniería, tales como:

Análisis estructural: Este tipo de análisis aborda varios problemas estructurales diferentes, por ejemplo: campos de deformación, tensión y deformación, así como fuerzas de reacción en un cuerpo sólido.

- **Análisis estático:** las cargas aplicadas y las condiciones de soporte del cuerpo sólido no cambian con el tiempo. Están disponibles materiales no lineales y propiedades geométricas como plasticidad, contacto, fluencia, etc.
- **Análisis modal:** esta opción se refiere a frecuencias naturales y formas modales de una estructura.
- **Análisis armónico:** la respuesta de una estructura sometida a cargas que solo exhiben un comportamiento sinusoidal en el tiempo.
- **Dinámica transitoria:** la respuesta de una estructura sujeta a cargas con comportamiento arbitrario en el tiempo.
- **Pandeo de valor propio:** esta opción se refiere a las cargas de pandeo y los modos de pandeo de una estructura.

Cuando se aplican cargas a un sólido, el sólido se deforma y el efecto de las cargas se transmite a través del sólido. Las cargas externas inducen fuerzas internas y reacciones para renderizar el sólido a un estado de equilibrio.

El análisis estático lineal calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de cargas aplicadas.

El análisis estático lineal realiza las siguientes suposiciones:

Suposición estática: Todas las cargas se aplican lenta y gradualmente hasta que alcanzan sus magnitudes completas. A continuación, las cargas permanecen constantes (sin variación en el tiempo). Esta suposición nos permite ignorar las fuerzas inerciales y de amortiguación debido a pequeñas aceleraciones y velocidades poco significativas. Las cargas que varían con el tiempo y que inducen fuerzas inerciales y/o de amortiguación significativas pueden garantizar el análisis dinámico. Las cargas dinámicas cambian con el tiempo y en muchos casos inducen fuerzas inerciales y de amortiguación considerables que no pueden ser despreciadas.

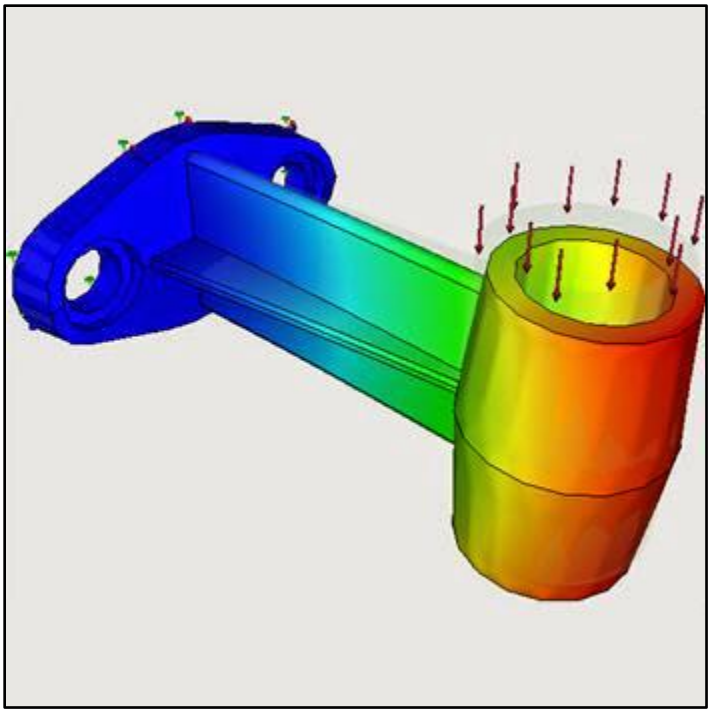


Figura 21 – Análisis estático mediante FEA (Arias F. Sergio, 2015).

Suposición de linealidad: La relación entre cargas y respuestas inducidas es lineal. Por ejemplo, si duplica las cargas, la respuesta del modelo (desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones) también se duplica. Puede realizar la suposición de linealidad si:

- Todos los materiales del modelo cumplen con la Ley de Hook, esto es, la tensión es directamente proporcional a la deformación unitaria.
- Los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para ignorar el cambio en la rigidez causado por la carga.

- Las condiciones de contorno no varían durante la aplicación de las cargas. Las cargas deben ser constantes en cuanto a magnitud, dirección y distribución. No deben cambiar mientras se deforma el modelo.

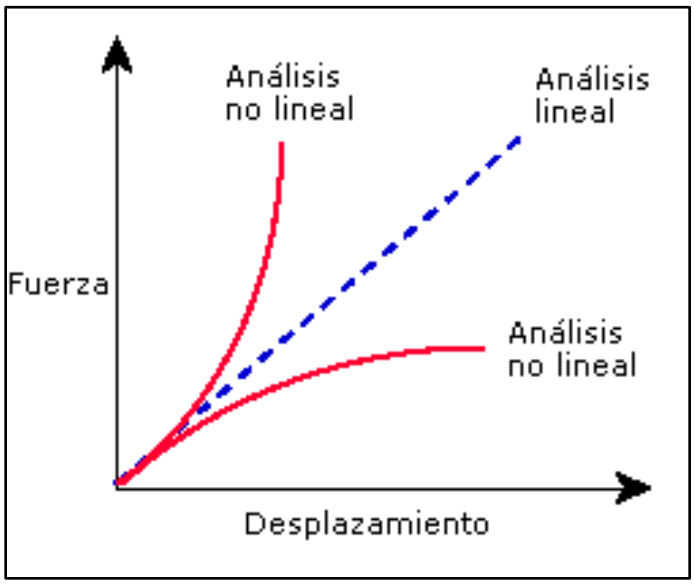


Figura 22 – Suposición de linealidad (Arias F. Sergio, 2015).

Análisis térmico: Este tipo de análisis aborda varios problemas térmicos diferentes, por ejemplo: campo de temperatura, de estado estacionario o dependiente del tiempo y flujo de calor en un cuerpo sólido.

- **Transferencia de calor primario:** conducción, convección y radiación en estado estacionario o transitorio.
- **Cambio de fase:** fusión o congelación.
- **Análisis termomecánico**: los resultados del análisis térmico se emplean para calcular los campos de desplazamiento, tensión y deformación debido a la diferencia expansión térmica.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 METODOLOGÍA DE LOS 7 PASOS

La metodología de los 7 pasos para el mejoramiento continuo desarrolla una serie de técnicas fundamentales en la búsqueda de solución para los problemas que se puedan presentar en el entorno laboral de una empresa (pequeña, mediana, grande) que pueda ofrecer bienes o servicios a un cliente en específico y que sea capaz de satisfacer sus necesidades y requerimientos de forma general. La metodología consta de los siguientes pasos:

- PASO 1. Selección de oportunidades de mejora: revisión de antecedentes, listar problemas, jerarquizar los más importantes, escoger y chequear el problema.
- PASO 2. Cuantificación y subdivisión: clarificar, subdividir y cuantificar el problema, escoger subdivisión a base de datos.
- PASO 3. Análisis de causas raíces: listar causas por subdivisión, agrupar las causas, cuantificar y seleccionar causas.
- PASO 4. Nivel de desempeño requerido (metas): definir el nivel del indicador, establecer propuestas.
- PASO 5. Diseño y programación de soluciones: listar posibles soluciones, seleccionar las soluciones más factibles y potenciales, programar las actividades de cada solución.
- PASO 6. Implantación de soluciones: verificar (reajustar) el cumplimiento del programa, chequear los niveles alcanzados por los indicadores, evaluar el impacto de las mejoras incorporadas.
- PASO 7. Establecimiento de acciones de garantía: normalizar prácticas operativas, entrenamiento en los nuevos métodos, incorporar el control del departamento, reconocer y definir resultados.

FIGURA 23 – Metodología de los 7 pasos. Fuente: Elaboración propia

3.2 PASO 1: SELECCIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA

Planta Keramika es una de las 9 plantas de revestimientos cerámicos de Grupo Lamosa en la República Mexicana y cuenta con una capacidad de producción anual de 15 millones de metros cuadrados, los cuales se elaboran en 11 líneas de esmaltado y 5 hornos de rodillos de diferentes dimensiones y 8 máquinas de clasificación y empaque, mismas que cuentan con la flexibilidad de producir baldosas en formatos de 180mm a 1200mm por lado.

Anteriormente, cada uno de los hornos se encontraba conectado a los bancos de selección del departamento de clasificación, empaque y embalaje mediante cintas transportadoras.

La problemática que se tiene con este sistema de transporte es que el flujo del material depende de la continuidad del proceso de selección, es decir, mientras la línea de selección se mantenga trabajando de manera normal, el material seguirá fluyendo de la misma manera. En caso de alguna falla en el proceso de selección o de algún paro programado por necesidades de producción o mantenimiento, el material debe entarimarse manualmente por los operadores de la salida del horno, teniendo como consecuencia un riesgo para los operadores por la manipulación del material a altas temperaturas, así como la generación de desperdicios en el producto.

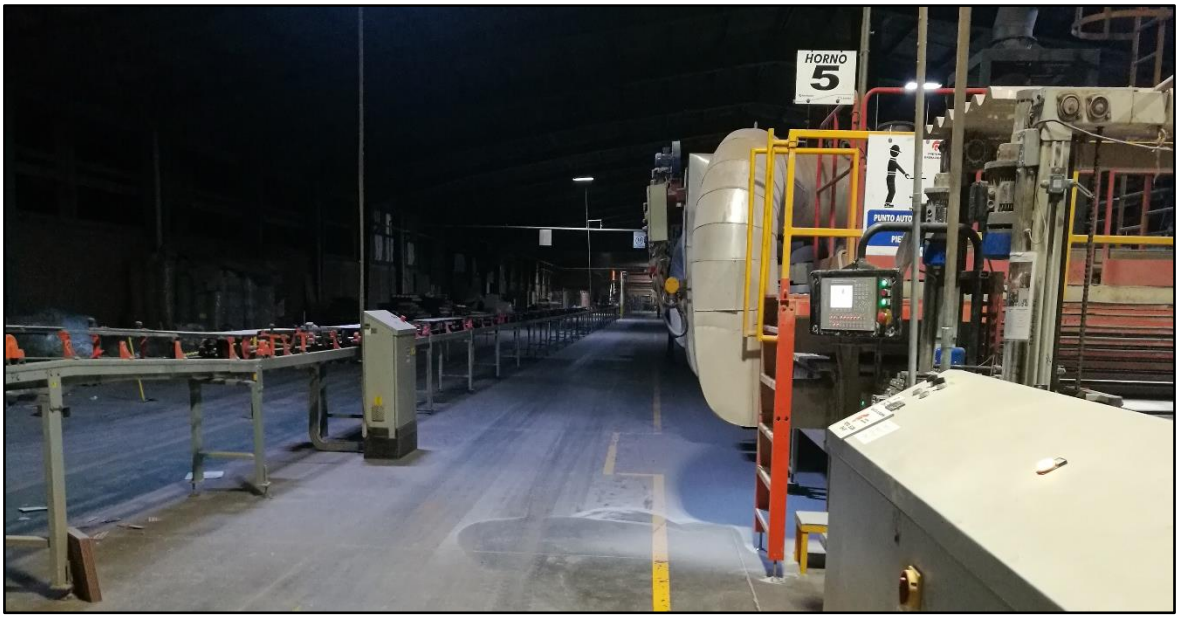


Figura 24 - Línea de transporte continuo. Fuente: Elaboración propia

En el año 2017, se añadió un proceso intermedio entre el horneado y la selección del producto al cual definiremos cómo Proceso de Carga – Transporte – Descarga de producto cocido, el cual consiste en la agrupación del material para ser almacenado en contenedores, transportado por sistemas autónomos hacia las líneas de selección y posteriormente descargado y clasificado.

A continuación, se presentan algunas de las ventajas y desventajas del proceso antes mencionado, las desventajas serán consideradas como las oportunidades de mejora para el presente proyecto, es decir, aquellas con las que se trabajará para alcanzar el objetivo de disminuir el desperdicio cocido.

3.2.1 VENTAJAS

1. Reducción de la cantidad de material a granel por paros en las clasificadoras.
2. Reducción del desperdicio generado por la manipulación del material.
3. Flexibilidad para clasificar el material de un horno en diferentes máquinas de selección, dependiendo de las necesidades de producción.
4. Programación del mantenimiento preventivo en las máquinas de selección.
5. En caso de tener duda con la clasificación a 1ª o 2ª calidad, se puede dejar el contenedor en espera de su valoración y continuar con el proceso de selección.

3.2.2 DESVENTAJAS

1. Desperdicio por piezas rotas en los niveles inferiores del contenedor.
2. Desperdicio generado por fallas en las planchas de aspiración, se caen estratos completos de material equivalente 5m² de desperdicio en cada falla.
3. Tiempos muertos en las clasificadoras por falta de material, causados por fallas en los vehículos de transporte.
4. Tiempos muertos en las clasificadoras causados por fallas en las máquinas de descarga y por contenedores mal formados.
5. Desportillado del material causado por la variación en las velocidades de las cintas de transporte en cargadoras y descargadoras, por el choque entre piezas y con las guías metálicas o centradores.

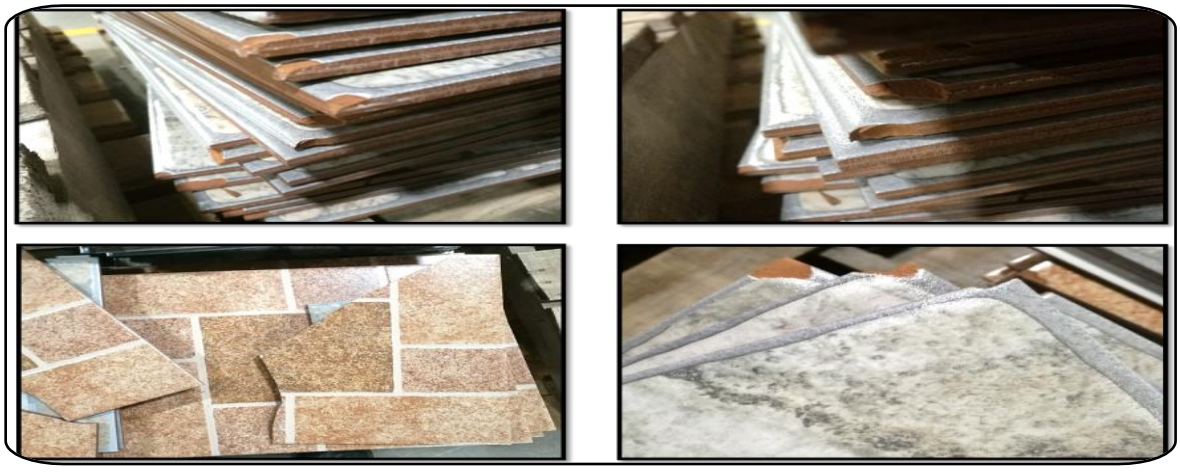


Figura 25 - Desperdicios generados en el proceso de carga. Fuente: Elaboración propia

3.3 PASO 2: Cuantificación y subdivisión

Una vez que tenemos seleccionada el área de oportunidad, el siguiente paso es obtener datos de que tanto desperdicio se está generando por los defectos **desportillado y piezas rotas.** Esta información se obtendrá de primera mano, es decir, de parte de los operadores del departamento de clasificación final, para conseguir estos dichos datos se generó un formato en el cual será llenado de la siguiente manera:

En la primera sección los operadores colocarán su nombre y número de nómina, fecha y turno en que lo están llenando, el nombre del producto que se está clasificando al momento de llenar el reporte y el formato nominal, esto para alcanzar un mayor nivel de rastreabilidad de los datos que se están obteniendo.

En la segunda sección los operadores registrarán la cantidad de piezas que hayan detectado de cada uno de los defectos que están considerados como 2ª calidad, este registro de datos se llevará a cabo cada dos horas y al finalizar el turno se realizará la sumatoria de las piezas que se identificaron para cada defecto y de cada diseño que se clasificó en dicha línea.

En la tercera sección los operadores registrarán la cantidad de piezas que hayan detectado de cada uno de los defectos que están considerados como desperdicio, este registro de datos se llevará a cabo cada dos horas y al finalizar el turno se realizará la sumatoria de las piezas que se identificaron para cada defecto y de cada diseño que se clasificó en dicha línea.

REPORTE DE DEFECTOLOGÍA

FECHA	OPERADORES			
HORA				
DEFECTOS	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO	DISEÑO
Defectos (2da Calidad)				
PLANAR				
BALSA				
BARRO PEGADO				
CALIBRE				
DEFECTOS DEL HORNO (Contaminado y Piedra de horno)				
ONDULADO				
DAF				
DDF				
ESMALTE ABIERTO				
FUERA DE TONO / MUTADO				
GOTAS (De Cubierta, de Esmalte, de Agua)				
LAMINADO				
MAL DECORADO (Recuadro, Marca y Vibración de Vela)				
ESTRIA				
RASPADO / MANCHA METALICA				
PICADO				
PIEDRA ESMALTE				
Defectos (Descarte)				
DDF // DAF				
AMPOLLA				
MICROGRIETA / GRIETA				
ESMALTE ABIERTO				
MAL DECORADO (Recuadro, Marca y Vibración de Vela)				
RASPADO				
LAMINADO				
GOTAS (De Cubierta, de Esmalte, de Agua)				
PICADO				
DEFECTOS DEL HORNO (Contaminado y Piedra de horno)				
BARRO PEGADO				
GRUMO O PIEDRA DE ESMALTE				
FALSO				
BALSA				
ROTAS				

Figura 26 - Reporte de defectos detectados en el departamento de selección. Fuente (Keramika 2019)

Al finalizar el turno el operador entregará el reporte de defectos al supervisor en turno, quien se encargará de registrar la información proporcionada por cada una de las 8 líneas de clasificación en una base de datos. Es muy importante darle seguimiento a la captura de esta información ya que mensualmente se graficarán los resultados obtenidos para así conocer cuáles son los defectos críticos que deben atacarse para lograr la disminución del porcentaje de desperdicio mensual.

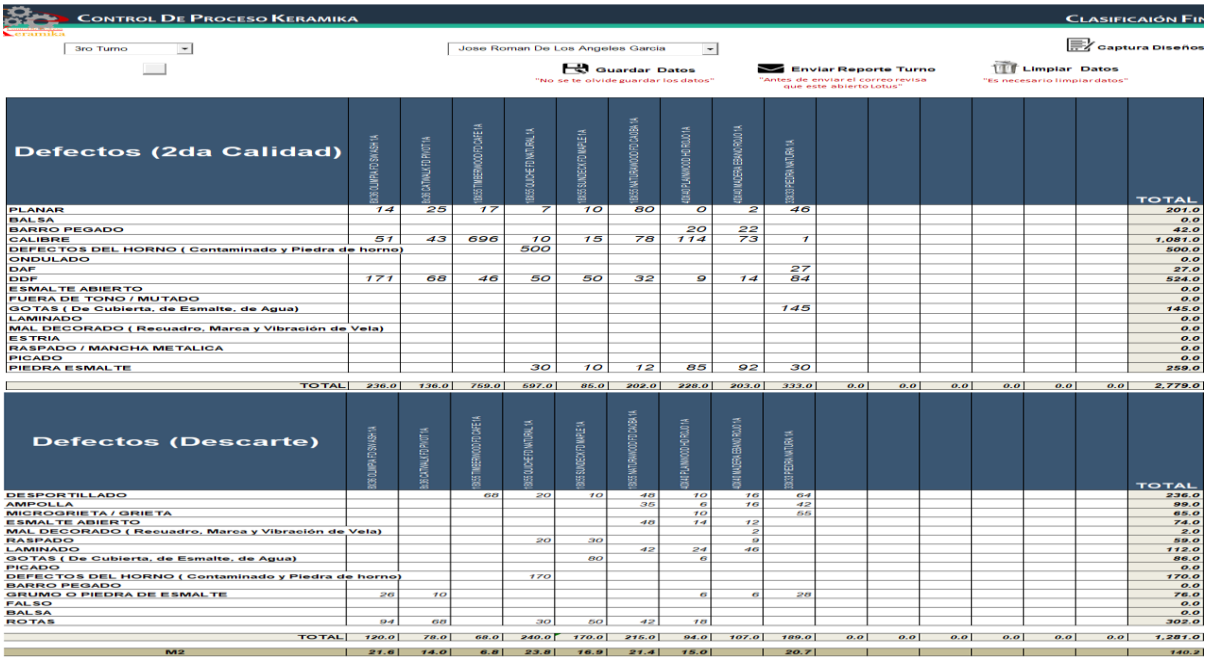


Figura 27 - Captura de información en la base de datos. Fuente: Elaboración propia

Este procedimiento para obtener información se comenzo a llevar a cabo en el mes de diciembre de 2018, al finalizar el mes se obtivueron los siguientes resultados.

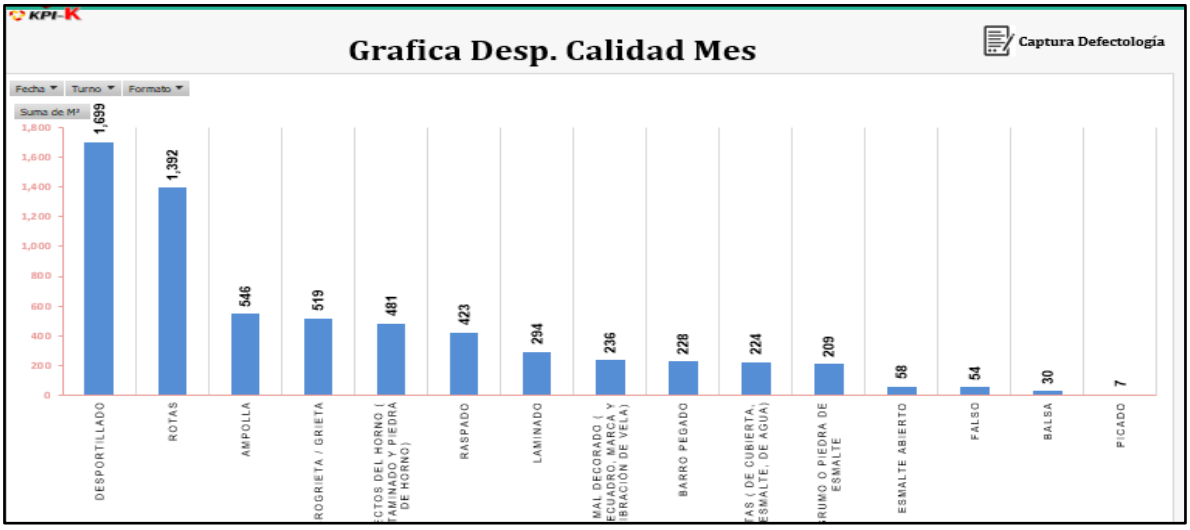


Figura 28 - Grafica de desperdicio, diciembre de 2018. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la grafica del mes de diciembre, se registraron **1699 m²** de desperdicio por **desportillado** y **1392 m²** de desperdicio registrado por **piezas rotas**, ambos son defectos derivados del proceso de carga y transporte del producto. Ahora que se tiene cuantificado y subdividido el problema, es posible pasar al siguiente punto de la metodología.

3.4 PASO 3: Análisis de causa raíz

Para conocer la causa raíz del problema identificado, es decir, la gran cantidad de piezas rotas y desportilladas que se están presentando en el proceso de carga y transporte se usará el diagrama Causa – Efecto.

El Diagrama Causa - Efecto es llamado usualmente Diagrama de "Ishikawa" porque fue creado por Kaoru Ishikawa, experto en dirección de empresas, quien a su vez estaba muy interesado en mejorar el control de la calidad. Se trata de una herramienta para el análisis de los problemas que básicamente representa la relación entre un efecto (problema) y todas las posibles causas que lo ocasionan. También es denominado diagrama de Espina de Pescado por su parecido con el esqueleto de un pescado.

El diagrama causa - efecto está compuesto por un recuadro que constituye la cabeza del pescado, en esta sección se establece el problema o efecto que se busca atacar. La línea principal que representa la columna del pescado y las seis líneas que apuntan a la línea principal son las espinas principales, mismas que representan las causas del problema. Cada espina principal tiene a su vez varias espinas que representan causas y subcausas, mientras más espinas secundarias tenga la espina principal, mayor será la probabilidad de encontrar la causa raíz del problema descrito.

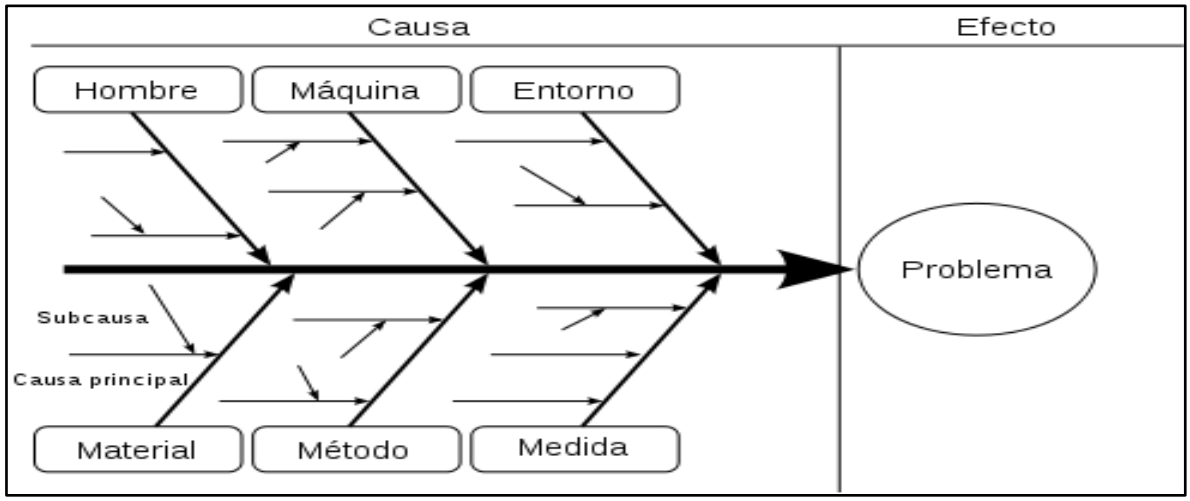


Figura 29 - Esquema de un diagrama Causa – Efecto. Fuente (Progressa Lean, 2014)

A continuación, se muestra el diagrama causa – efecto realizado para encontrar la causa raíz del problema definido cómo: “Desperdicio cocido generado en la carga y transporte de material”.

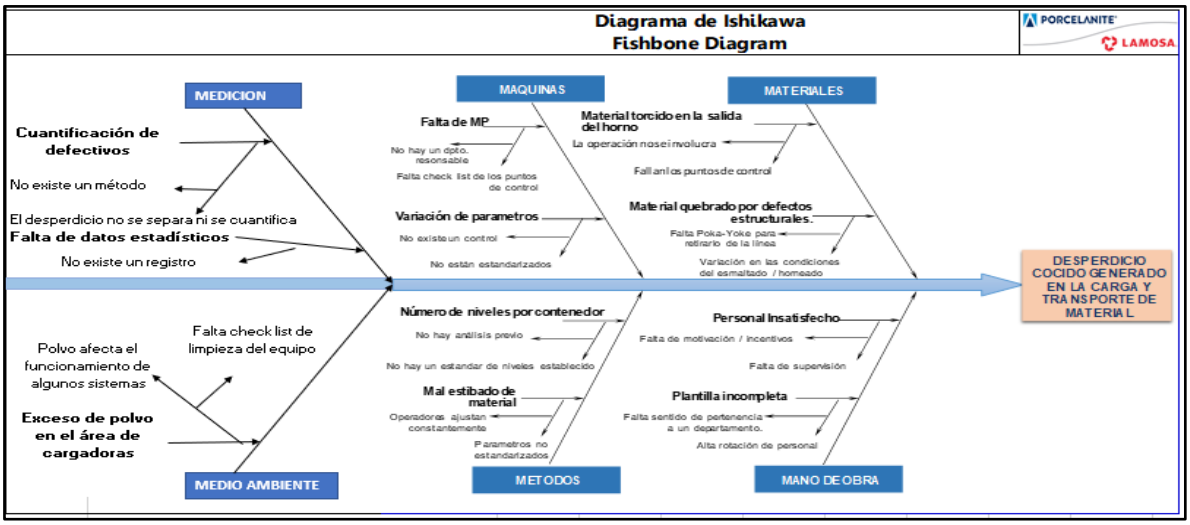


Figura 30 - Diagrama causa – efecto. Fuente: Elaboración propia.

Las causas que se analizaron para el efecto descrito son las siguientes:

3.4.1 MATERIALES

Material torcido en la salida del horno: Esta causa se origina cuando los operadores de la salida del horno no se aseguran de que las condiciones de las cintas que transportan el material sean las correctas, es decir, que cuenten con las velocidades adecuadas, que se encuentren correctamente alineadas, que las guías laterales se encuentren en buen estado, etc.,

Material quebrado por defectos estructurales: Existen defectos estructurales que se generan en procesos anteriores al horneado tales como ampolla, grieta, estría y falso. Las piezas que se ven afectadas por estos defectos probablemente se romperán en el proceso de carga y descarga, por lo que los operadores del proceso de selección deben identificar el origen del rompimiento para reportarlo adecuadamente.

3.4.2 MANO DE OBRA

Plantilla incompleta: Al momento de llevar a cabo el análisis de causa – efecto, la plantilla de operadores para el área de cargadoras se encontraba incompleta, de los nueve operadores que conforman la plantilla solo se tenían asignados seis en esta area, por lo que en varias ocaciones los operadores debían doblar turno para cubrir la falta de personal, afectando el proceso y por lo tanto la calidad del producto.

Personal insatisfecho: Aparte de la falta de personal en el área, los operadores no cuentan con la posibilidad de aumentar sus percepciones economicas por ser un área de reciente creación.

3.4.3 MÁQUINAS

Falta de Mantenimiento Preventivo: No se lleva a cabo como debería el mantenimiento preventivo ya que la responsabilidad de las máquinas de carga y lo operadores se encuentra dividida entre los departamentos de hornos y clasificación final.

Variación de parámetros: Los parámetros con los que trabajan las máquinas de carga y descarga no se encuentran estandarizados, por lo que los operadores turno a turno los modifican de la manera en la que creén que las máquinas trabajarán mejor.

3.4.4 MÉTODOS

Número de estratos por contenedor: Desde la implementación del proceso de carga, los contenedores se cargan con 70 estratos de material, es decir, el máximo permitido por el sistema, sin antes haber realizado un estudio sobre la resistencia a la rotura.

Mal estibado del material: El estibado o formado de los contenedores varía en cada cargadora a pesar de estar trabajando con el mismo formato, es decir, dos cargadoras que trabajan con el formato 18x55cm estiban el material de manera diferente, lo cual genera problemas al momento de descargar. Esto de debe a que los parametros no se encuentran estandarizados por lo que los operadores realizan ajustes constantemente conforme a lo que ellos creen convenienete.

3.4.5 MEDICION

Falta de datos estadísticos por no cuantificar los defectos: Al no tener un registro de los defectos causantes del desperdicio, no se tiene un punto de partida para atacar el problema.

3.4.6 MEDIO AMBIENTE

Exceso de polvo en el aire: El exceso de polvo en el área de las cargadoras provoca que algunos de los sistemas fallen, en especial aquellos que dependen de sensores de presencia para funcionar. Este problema combinado con la falta de mantenimiento preventivo puede ocasionar fallas mayores.

Después de analizar las causas y subcausas, se determina como causa raiz al **método de carga** ya que es en la cantidad de estratos estibados por contenedor y la manera en la que estos se forman en donde más se pueden ocasionar los dos defectos que se están buscando reducir (desportillado y piezas rotas).

3.5 PASO 4: Nivel de desempeño requerido (metas)

Como se puede observar en la figura 28, en el mes de diciembre de 2018 se registraron **1699m²** de desperdicio por **desportillado y 1392m²** de desperdicio por **piezas rotas**, ambos defectos se derivan del proceso de carga y transporte de producto cocido. A continuación, se definen cuatro metas a cumplir a diciembre de 2019, con las cuales se espera reducir el porcentaje de desperdicio cocido a 3.5% global en keramika:

1. Definir el número optimo de niveles de carga por contendor mediante un estudio de resistencia a la flexión a agosto de 2019.
2. Estandarizar el proceso de carga y descarga a agosto de 2019.
3. Optimizar el transporte del producto crudo y cocido a diciembre de 2019.
4. Reducir al 40% el desperdicio generado por desportillado y piezas rotas a diciembre de 2019.

3.6 PASO 5: Diseño y programación de soluciones

A continuación se presenta un diagrama de Gantt en el cual se enlistan las actividades a realizar para la optimización del proceso de carga.

DIAGRAMA DE GANTT (ENE A DIC 2019)		DISMINUCIÓN DEL DESPERDICIO COCIDO EN PLANTA KERAMIKA A 3.5% GLOBAL A DICIEMBRE DE 2019																							
	ACTIVIDAD	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
1	EVALUACIÓN VIRTUAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO	■																							
2	INVESTIGAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL PRODUCTO		■	■																					
3	REALIZAR PRUEBAS DE RESISTENCIA DE CADA PRODUCTO			■	■	■	■	■	■																
4	INVESTIGAR EL ESTADO ACTUAL DE LAS CARGAS POR CONTENEDOR									■	■														
5	AJUSTAR LA CANTIDAD DE NIVELES SEGÚN EL ESTUDIO REALIZADO											■	■												
6	ESTANDARIZAR EL PROCESO DE CARGA Y DESCARGA												■	■	■	■									
7	REPARAR LAS GRIETAS EN EL SUELO POR EL QUE TRANSITAN LOS LGV														■	■	■								
8	MONITOREAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES IMPLEMENTADAS																	■	■	■	■	■			
9	MEDIR EL DESPERDICIO DESPUÉS DE IMPLEMENTAR LAS ACCIONES																					■	■	■	■

Tabla 6 - Diagrama de Gantt, año 2019. Fuente: Elaboración propia

3.7 PASO 6: Implantación de soluciones

La implantación de soluciones se llevó a cabo conforme a lo establecido en el diagrama de Gantt (Tabla 6) por lo que las actividades se realizaron de la siguiente manera:

3.7.1 EVALUACIÓN VIRTUAL DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO

Mediante el método de análisis de elementos finitos descrito en el punto 2.2.8 de la metodología, se busca encontrar los puntos de falla del producto después del horneado, mismos que son la causa del desperdicio cocido por los defectos de desportillado y piezas rotas.

Para llevar a cabo el análisis y la simulación del proceso de carga de producto cocido se usó el software ABAQUS, que es un programa CAE (Computer Aided Engineering ó Ingeniería Asistida por Ordenador) de cálculo por elementos finitos de propósito general, parte de la plataforma SIMULIA de Dassault Systems, misma que proporciona un portafolio de soluciones de análisis y simulación 3D por elementos finitos que incluye las aplicaciones de CATIA Análisis, Abaqus para análisis de elemento finito unificado y soluciones multifísicas.

A continuación, se describe brevemente el proceso de simulación en Abaqus:

1. Se genera un nuevo proyecto, en el módulo Part se elige un espacio de modelado 3D de tipo deformable, en características de la base se elige sólido y de tipo extrusión.
2. Se genera una forma de 399mmX399mmX8.8mm que corresponde a las medidas de una loseta del formato 40x40cm.

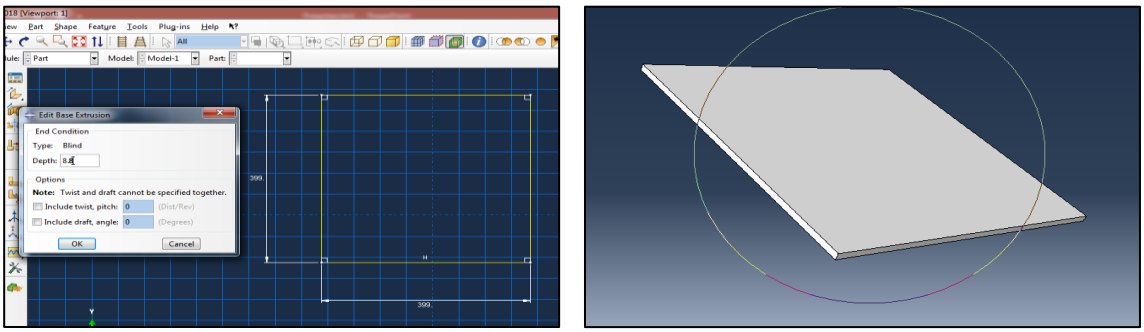


Figura 31 - Generación de modelo. Fuente: Elaboración propia

3. En el módulo Material, se asignan las características de los materiales que se usarán en el análisis: En generales se elige Densidad de la masa y se asigna el valor **3.96E-09**, en Mecánicas se elige Elasticidad y se asignan valores para el Módulo de Young de **370000** y Coeficiente de Poisson de **0.22**.

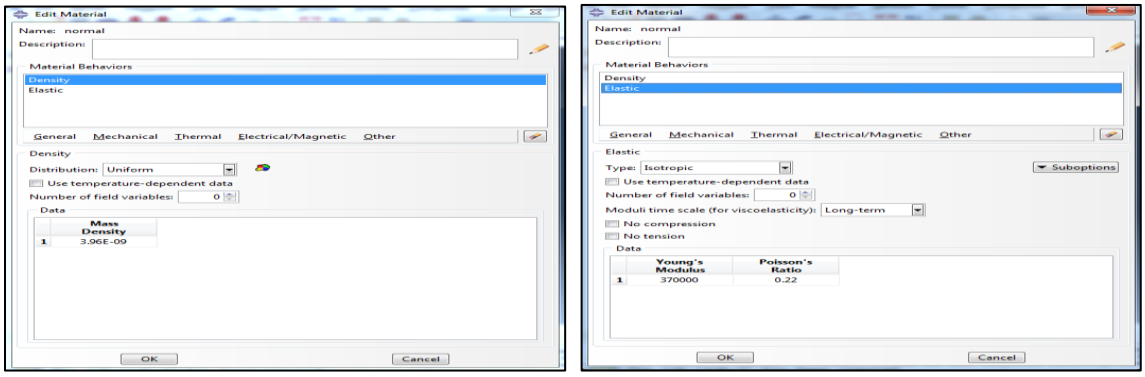


Figura 32 - Propiedades físicas del material. Fuente: Elaboración propia

4. En el módulo Property, se crea una nueva sección de categoría Solido y de tipo Homogéneo, se elige el material que se generó en el paso #3.
5. En el mismo módulo, se selecciona el botón Asignación de la sección, en la cual se elige la sección generada en el paso #4.
6. En el módulo Step, se selecciona el tipo de procedimiento general y estático, en la pestaña de incremento, se introduce el valor 0.1 al tamaño de incremento inicial y 1.0 al incremento máximo.
7. En el módulo Load, en el botón Condiciones de frontera, se selecciona mecánica en la sección de categoría, de tipo desplazamiento/ rotación. Se selecciona la base de la loseta y se palomean las casillas U1, U2 y U3 para restringir el desplazamiento.

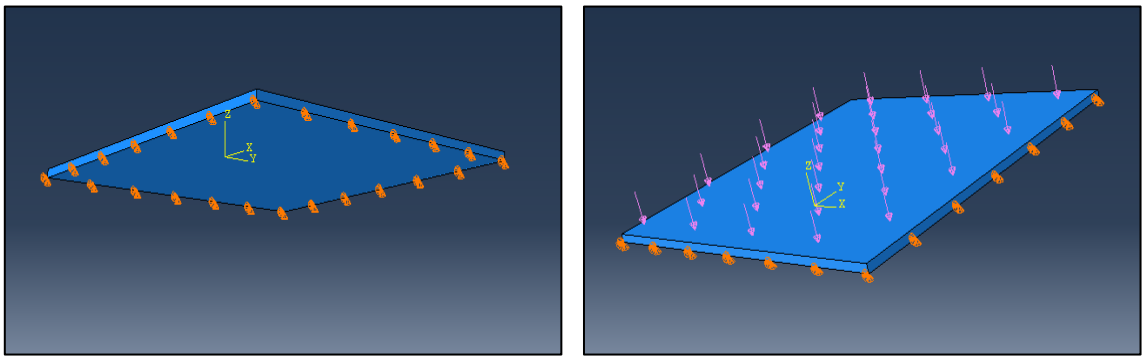


Figura 32 - Asignación de condiciones de frontera y cargas. Fuente: Elaboración propia

8. En el mismo módulo, se genera una carga para el step generado en el paso #6, de categoría mecánica y de tipo Presión. Se asigna la carga a la cara contraria a la base de la loseta (la cara esmaltada), se selecciona una distribución uniforme y magnitud de 0.5.
9. En el módulo Mesh, se selecciona el botón Tipo de elemento, en la sección familia el tipo 3D Stress y se dejan los demás parámetros por default, en el botón Global seeds, se introduce el valor 10 en el apartado Tamaño Global Aproximado, seleccionar OK para mallar el modelo de la loseta cerámica.

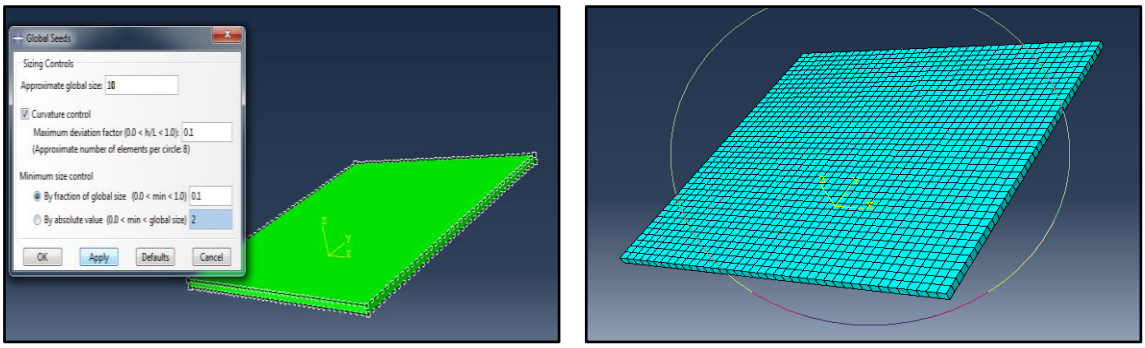


Figura 33 - Mallado del modelo. Fuente: Elaboración propia

Siguiendo los primeros nueve pasos presentados hasta ahora, se consigue un modelo mallado de una baldosa cerámica similar al que se manufactura en Keramika y que es objeto del presente estudio, para simular el proceso de carga y realizar el análisis de esfuerzos se realizó el siguiente procedimiento:

10. Repetir los primeros nueve pasos para obtener una segunda loseta cerámica, misma que se usará para simular el proceso de carga del producto cocido en contenedores, al llegar al paso #3 (Módulo Material), se modificarán el valores usados para el primero modelo, el objetivo es simular el peso de 70 piezas en una sola loseta cerámica que corresponde al número de niveles de estiba en un contenedor de producto cocido, por lo que el valor que se usará en este caso es de **2.77E-07** para la Densidad de la masa, Módulo de Young de **370000** y Coeficiente de Poisson de **0.22**.

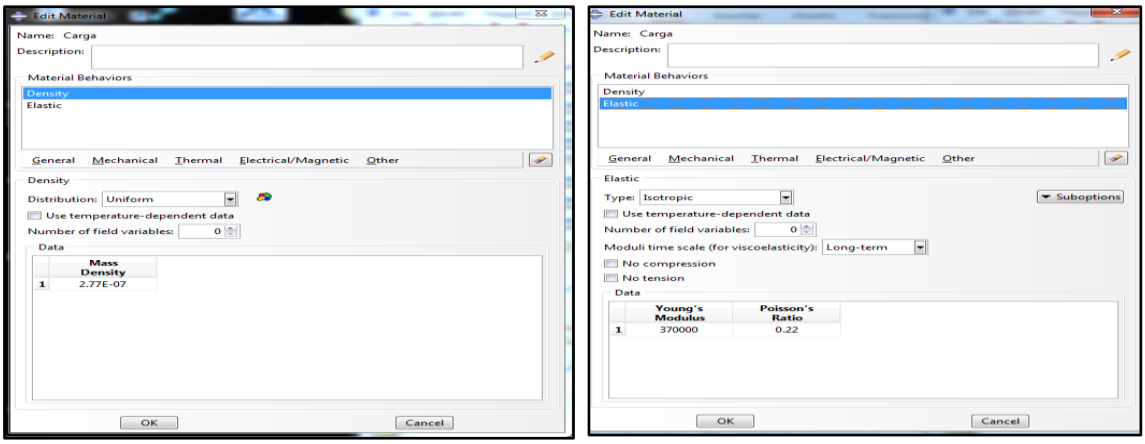


Figura 34 – Simulación de la densidad de 70 losetas en una. Fuente: Elaboración propia

11. Generar un ensamble (Módulo Assembly) colocando como base el primero modelo que se generó y sobre este el segundo modelo generado con las propiedades físicas equivalentes a 70 losetas cerámicas, se asigna un punto de intersección en la zona central de ambos modelos.

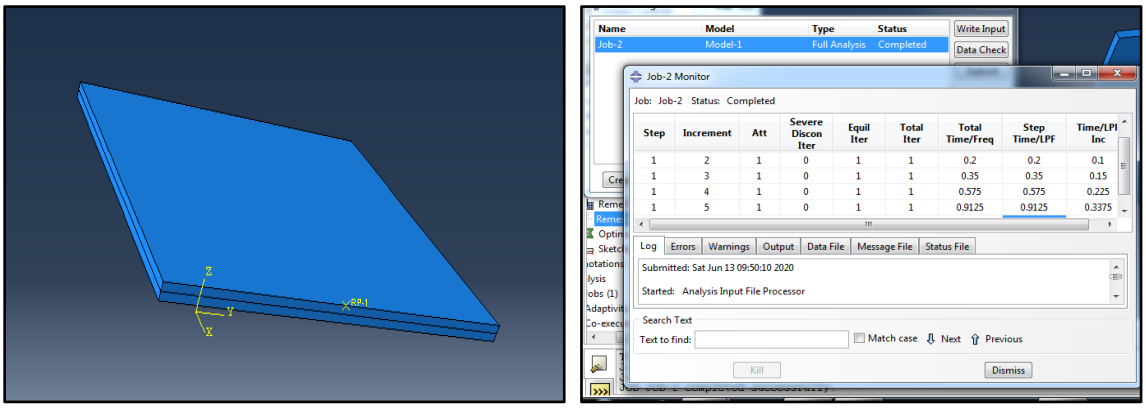


Figura 35 - Ensamble de modelos y corrida del programa. Fuente: Elaboración propia

12. En el módulo Job, se crea un nuevo trabajo y se selecciona el botón Submit, el programa tardará un par de minutos en generar el análisis de cargas, una vez concluido el procesamiento de datos, se selecciona el botón Results para obtener una vista animada de las cargas obtenidas en el proceso que se simuló. En este caso se identifica el punto de falla de las piezas en color rojo, mientras que los puntos en los que las cargas son menores se identifican en colores verde y azul respectivamente.

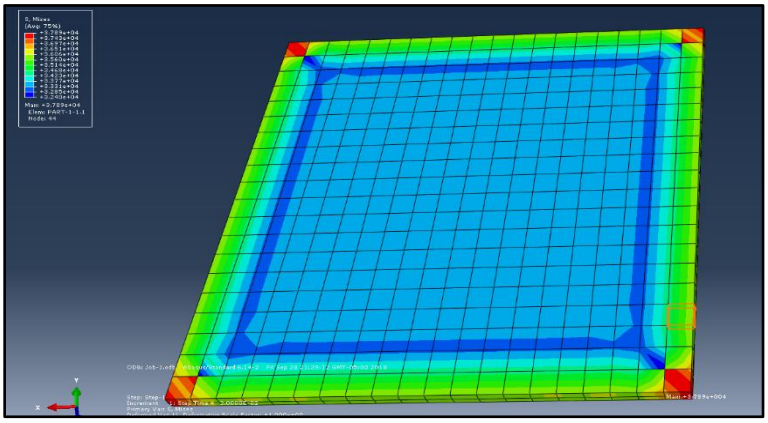


Figura 36 - Resultado de la simulación. Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la simulación muestran que los vértices de la loseta son los puntos más frágiles, por lo que en estos puntos existe una mayor probabilidad de que exista rotura o desportillado, seguido por el perímetro y por último el centro de las piezas. Estos resultados coinciden con lo presentado en la sección de selección de oportunidades de mejora (Figura 27) en donde se muestra el desperdicio generado en el proceso de carga de producto cocido. Teniendo como base el conocimiento del comportamiento mecánico del material, lo siguiente es verificar estos resultados realizando pruebas físicas al material para conocer la resistencia mecánica bajo condiciones estáticas, es decir, al momento de realizar el estibado del material en los contenedores de producto cocido.

3.7.2 INVESTIGAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL PRODUCTO

Para concer las propiedades físicas del producto, se investigó en la **Norma Interna De Calidad Lamosa ED. 2016** en el apartado de productos semigres, obteniendo los siguientes resultados:

PROPIEDADES FISICAS / PRODUCTO SEMIGRES				
Formatos (cm)	Parámetros	Unidades	Especificación	Ensayo de verificación
20x20 30x30 30x30 (1ft.) 33x33 40x40 44x44 55x55	1. Absorción de Agua	%	3 a 6	ISO-10545-3
	2. Resistencia a la Flexión	kg / cm²	Mínimo 250	ISO-10545-4
	3. Resistencia a la Abrasión	PEI	Declarar la clase de abrasión	ISO-10545-7
	4. Resistencia al Choque Térmico	-	Resiste	ISO-10545-9
	5. Resistencia al Cuarteo:	-	Resiste	ISO-10545-11
	6. Resistencia a la Helada	-	Resiste	ISO-10545-12
	7. Coeficiente de Fricción	-	Seco: Mínimo 0.4 Húmedo: Mínimo 0.3 (ver anexo 1)	ASTM C1028
	8. Permeabilidad de Engobe	-	Resiste	Porcelanite Lamosa
	9. Cohesión de Capa Vitrea Esmaltada	-	Resiste	Porcelanite Lamosa

Tabla 7 - Propiedades físicas del producto semigres. Fuente (Lamosa, 2016)

Para el presente caso de estudio, se tomará en cuenta la resistencia a la flexión tambien conocido como módulo de rotura, en la Tabla 7 se establece como unidad de medida kg/cm² o kilogramo fuerza, se especifica un mínimo de 250 kg/cm² para los formatos que van desde 20x20cm hasta 55x55cm por lo que estos deben de resistir un mínimo de 250kf/cm² antes de romperse en una prueba de laboratorio para considerarse como material de 1ª calidad.

El módulo de rotura se deduce de la magnitud fuerza de rotura a través de una fórmula matemática (fuerza de rotura dividida por el cuadrado del grosor mínimo de la sección de rotura). El resultado del ensayo, expresado en newtons por milímetro cuadrado (N/mm²), nos aproxima a la resistencia mecánica de la baldosa cerámica independientemente de su grosor.

La norma internacional ISO 10545-4 establece un método de ensayo para la determinación de la resistencia a la flexión o módulo de rotura, y la fuerza de rotura para todo tipo de baldosas cerámicas. El método del ensayo contempla las siguientes magnitudes

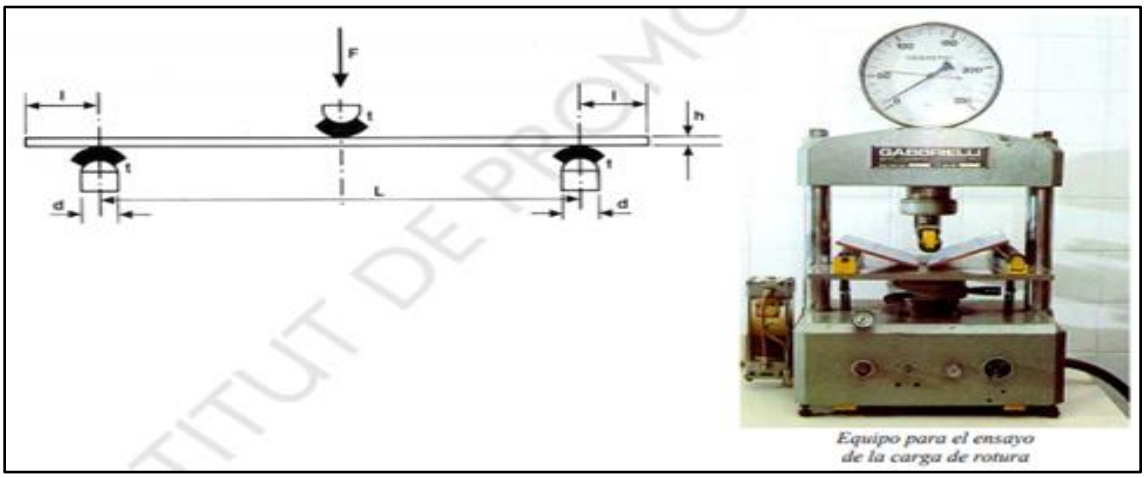
CÓDIGO	CARACTERÍSTICA	DEFINICIÓN
F	Carga de rotura	Fuerza necesaria para causar la rotura de la probeta, expresada en Newtons (N), según lectura de un manómetro.
C	Carga de rotura sobre pieza entera	En el caso de que el ensayo se realice sobre la baldosa entera, que es lo más representativo.
S	Fuerza de rotura	Fuerza expresada en Newtons (N), obtenida al multiplicar la carga de rotura (F) por la relación entre la separación de los rodillos de apoyo (L en mm) y la anchura de la probeta (b también en mm). **Fuerza de rotura** $S = F \times \frac{L}{b}$ **(en Newtons)**
R	Resistencia a la flexión o Módulo de rotura	Magnitud expresada en Newtons por milímetro cuadrado (N/mm^2), obtenida al dividir la fuerza de rotura por el cuadrado del grosor mínimo en la sección de rotura. **Resistencia a la flexión** $R = \frac{3FL}{2bh^2} = \frac{3S}{2h^2}$ **(en N/mm^2)**

Tabla 8 - Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión. Fuente (IPC, 2015)

Para obtener la fuerza de rotura, se utiliza un equipo de laboratorio llamado Crometro, para el experimento se toman las siguientes variables:

- L: Es la distancia o separación entre los rodillos de apoyo.
- B: Es la anchura de la probeta.
- h: Es el grosor mínimo, expresado en milímetros, de la probeta en la sección de rotura.

El cálculo de la resistencia a la flexión se basa en una sección transversal rectangular.



Equipo para el ensayo de la carga de rotura

Figura 37 - Equipo de laboratorio para el calculo de resistencia. Fuente (IPC, 2015)

3.7.3 REALIZAR PRUEBAS DE RESISTENCIA A CADA PRODUCTO

Una vez que se conoce el metodo de ensayo para determinar la resistencia a la flexión, se procede a realizar las pruebas correspondientes en el laboratorio de la planta, usando como herramienta principal el Crometro. Este procedimiento se llevará a cabo para los cuatro formatos que se producen en planta Keramika (18cmX55cm, 20cmX90cm, 33cmX33cm y 40cmX40cm), tomando diariamente 10 muestras para cada formato durante los meses de febrero, marzo y abril. Al final del mes se graficarán y analizarán los resultados obtenidos en busca de para cada formato para obtener datos significativos que se pudieran usar a lo largo de este estudio.

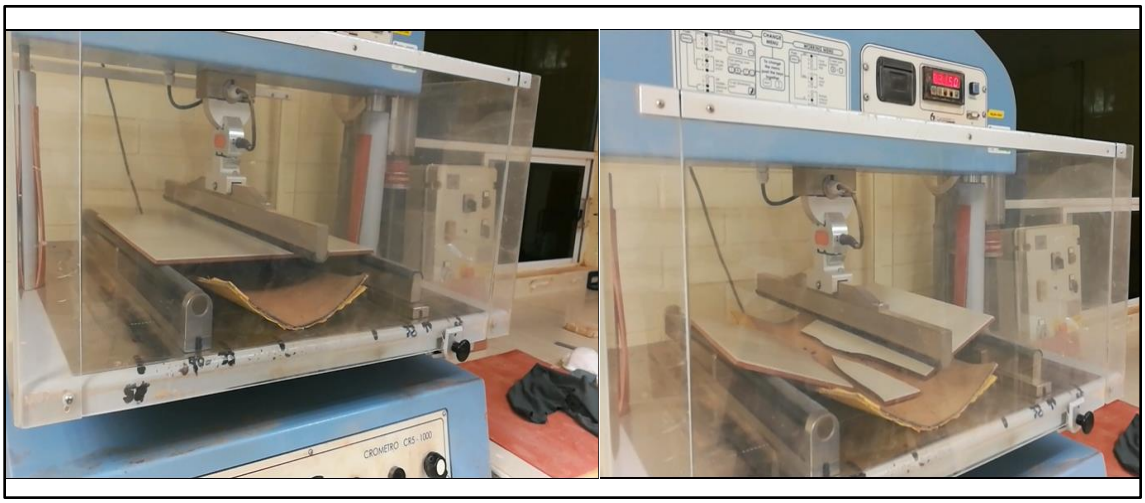


Figura 38 - Pruebas de laboratorio realizadas. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan las gráficas de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio. Cada gráfica contiene los promedios de las pruebas que se realizaron diariamente durante el més de abril del 2019, separadas por formato nominal.

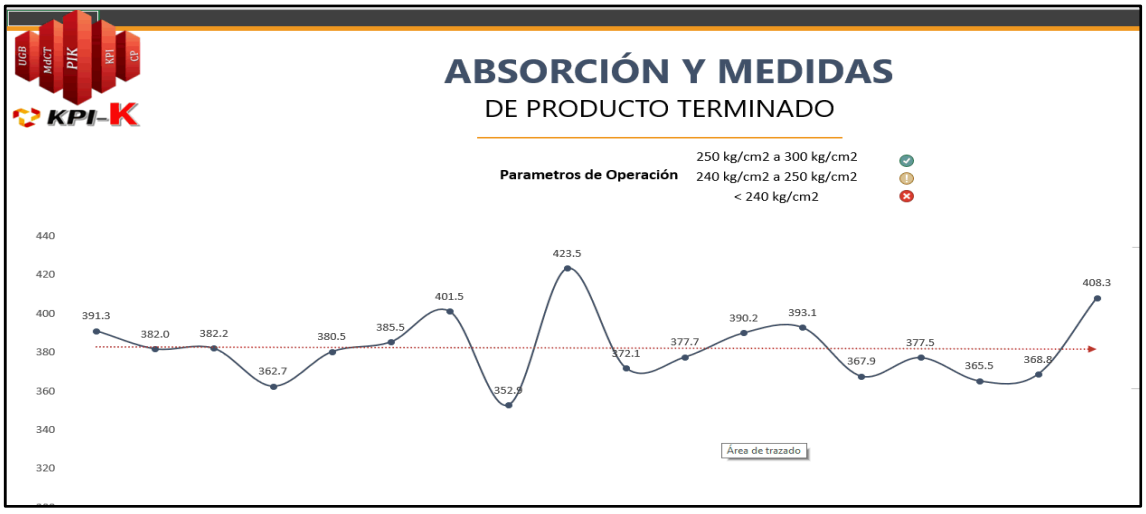


Figura 39 - Modulo de rotura en kg/cm^2, formato 20x90cm. Fuente: Elaboración propia.

Figura 40 - Modulo de rotura en kg/cm^2, formato 18x55cm. Fuente: Elaboración propia.

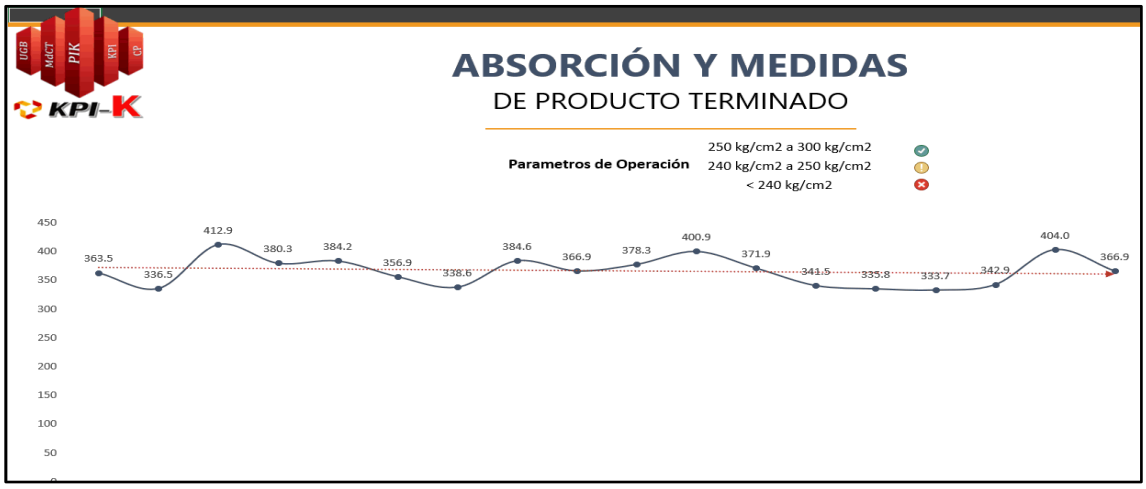


Figura 41 - Modulo de rotura en kg/cm^2, formato 40x40cm. Fuente: Elaboración propia.

Figura 42 - Modulo de rotura en kg/cm^2, formato 33x33cm. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos mediante las pruebas de laboratorio están expresados en N/mm², para convertirlos a la unidad requerida por la norma internacional ISO 10545-4 (kgf/cm²) es necesario multiplicar los resultados por 10.1972. Kilogramo fuerza o kilopondio es una unidad de fuerza en el antiguo Sistema Técnico de Unidades, es la fuerza ejercida sobre una masa de 1 kg masa por la gravedad estándar en la superficie terrestre (9,80665 m/s2.)

3.7.4 INVESTIGAR EL ESTADO ACTUAL DE LAS CARGAS POR CONTENEDOR

Como se había comentado en capitulos anteriores, desde la implementación del proceso de carga y transporte de producto cocido se estableció cargar cada contenedor a lo máximo permitido por el sistema, es decir, 70 niveles.

En la siguiente tabla se muestra la relación entre el peso de las baldosas de cada formato y los kilogramos de fuerza aplicada a los niveles inferiores del contenedor, también se muestra el modulo de rotura promedio que se obtuvo de las pruebas realizadas en el laboratorio:

FORMATO	PESO / BALDOSA	NIVELES / CONTENEDOR	FUERZA EJERCIDA	MODULO DE ROTURA PROMEDIO
40X40CM	2.9KG	70	203kgf/cm²	366kgf/cm²
18X55CM	2.1KG	70	147kgf/cm²	336kgf/cm²
20X90CM	4.0 KG	70	280kgf/cm²	380kgf/cm²

Tabla 9 - Relación fuerza ejercida – modulo de rotura. Fuente: Elaboración propia.

De esta tabla podemos obtener las siguientes conclusiones:

- El formato que menos rotura tendría en los niveles inferiores del contenedor es el de 18x55cm ya que cada baldosa pesa 2.1 kg en promedio, aunque los contenedores se carguen a 70 niveles, la fuerza ejercida en los niveles inferiores quedaría en 147kg/cm². Considerando que lo mínimo aceptable es 250kg/cm² y que en promedio, las baldosas del formato 18x55cm cuentan con una resistencia a la flexión de 336kg/cm², se concluye que no es necesario disminuir la cantidad de niveles por contenedor debido a la baja probabilidad de ocurrencia de rotura de piezas.
- El formato de 40cmX40cm tiene poca probabilidad de generar rotura de piezas en los niveles inferiores de los contenedores ya que a pesar de cargar los contenedores a 70 niveles, la fuerza ejercida es menor al minimo aceptable de 250kg/cm². Aun así, se recomienda disminuir la cantidad de niveles a 50 para reducir al mínimo la probabilidad de rotura, dejando la fuerza ejercida en 145kg/cm².
- El formato que mayor rotura tendría en los niveles inferiores del contenedor es el de 20x90cm ya que al cargar un contenedor a 70 niveles, la fuerza ejercida llega a 280kg/cm², es decir, supera el mínimo aceptable. A pesar de que el promedio del modulo de rotura obtenido en las pruebas de laboratorio para este formato se

encuentre en 380kg/cm², se recomienda disminuir la cantidad de niveles cargados a 40, dejando la fuerza ejercida en 180kg/cm².

3.7.5 AJUSTAR LA CANTIDAD DE NIVELES SEGÚN EL ESTUDIO REALIZADO

En base a los resultados obtenidos, se determina disminuir el número de niveles por contenedor quedando de la siguiente manera:

FORMATO	NIVELES / CONTENEDOR	FUERZA EJERCIDA	MODULO DE ROTURA PROMEDIO
40X40CM	50	145kgf/cm²	366kgf/cm²
18X55CM	70	147kgf/cm²	336kgf/cm²
20X90CM	45	180kgf/cm²	380kgf/cm²

Tabla 10 - Disminución de niveles cargados por contendor. Fuente: Elaboración propia.

La disminución de la fuerza ejercida derivada de la reducción en la cantidad de niveles por contenedor ayudará a minimizar la cantidad de piezas rotas en el proceso de carga, descarga y transporte del material, se estableció un margen inferior al 50% del promedio del modulo de rotura obtenido en las pruebas de laboratorio, como respaldo ante las condiciones que no se están considerando tales como las malas condiciones del suelo sobre el que transita el carro de transporte y los descuidos operativos como piezas encimadas en los contenedores, piezas faltantes o sobrantes por paquete etc.

3.7.6 ESTANDARIZAR EL PROCESO DE CARGA Y DESCARGA

Es importante que los procesos de carga y decarga del producto cocido se realicen de manera estandarizada ya que, de no ser así, puede causar altos volumenes de desperdicio. Ambos procesos se realizan con maquinaria del mismo modelo y funcionan con el mismo sistema operativo, por lo que es posible igualar los parametros de carga con los de descarga tales como: tiempo de aspiración para carga y descarga de paquetes, posición del eje transversal para carga y descarga, velocidad de subida y bajada de la plancha de aspiración, velocidades de las cintas de transporte (transporte con rodillos y bandas motorizadas) etc.

Figura 43 - Máquinas de carga y descarga de producto cocido. Fuente: Elaboración propia.

Durante el estudio de los metodos de carga y descarga de contenedores, fue posible observar que constantemente los parametros de carga eran modificados por los operadores, por lo que el los estratos en los contenedores se encontraba recargados hacia uno de los lados y no al centro como debería ser.

Esto provoca problemas en la línea de selección ya que ahí, los parametros de descarga se mantienen constantes, es decir, la plancha de la descargadora siempre se posiciona en el mismo lugar para descargar los estratos de piezas, cuando el material se encuentra mal centrado se corre el riesgo de que la aspiración no se realice correctamente y al momento de levantarse la plancha, el paquete de piezas se caiga causando el rompimiento de las piezas, tanto de aquellas que está cargando la plancha como de las que se encuentran debajo de la plancha de aspiración.

Cada estrato de material esta conformado de 25 a 44 piezas dependiendo del formato con el que se esté trabajando, esto equivale a 4m² aproximadamente, por lo que cada vez que los paquetes de piezas se caen de la plancha de aspiración, se desperdician de 4m² a 8m² aproximadamente.

Para lograr la estandarización de los parametros de carga y descarga se trabajó en la máquina de selección #5, esta máquina se encuentra disponible para realizar distintas pruebas ya que solamente se utiliza en caso de que se acumule el material de alguna otra clasificadora o se necesite alimentar manualmente el material que se baja en las salidas de los hornos.

CENTRADO DE ESTRATOS DE PIEZAS EN EL CONTENEDOR

El proceso consiste en formar manualmente un estrato de cada formato de material (40cmx40cm, 18cmx55cm, 20cmx90cm, 20cmx120cm y 33cmx33cm) centrandolo en el contenedor, es decir, dejando las mismas distancias entre los vertices del estrato y los vertices del contenedor.

Esto nos servirá posteriormente para conocer las coordenadas en las que se tendrá que posicionar el eje de traslación de la plancha de succión para tanto para carga y como para descarga de material.

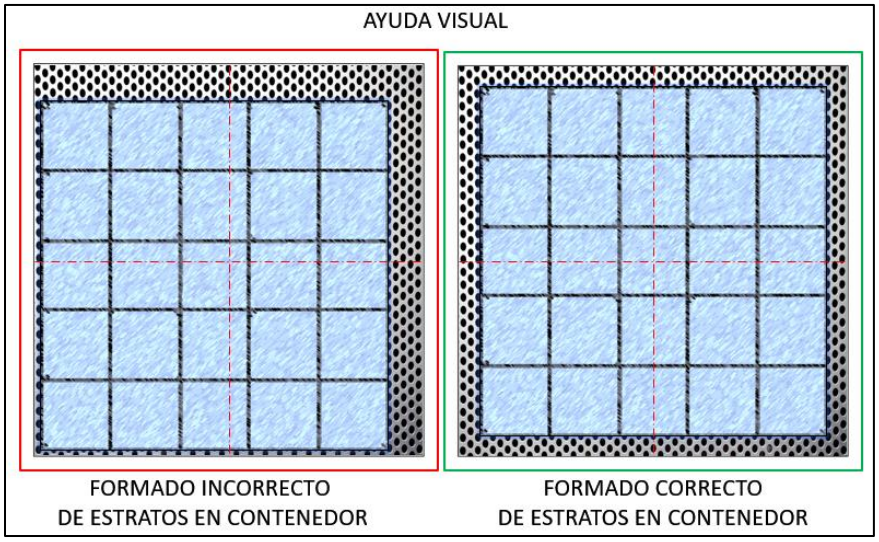


Figura 44 - Ayuda visual, formado de estratos. Fuente: Elaboración propia.

CENTRADO DE LA PLANCHA DE ASPIRACIÓN

Se mueve manualmente la plancha de aspiración de manera que se posicione en las mismas coordenadas que el estrato de piezas que se centro en el contenedor anteriormente, se repite el mismo procedimiento para cada uno de los formatos de producto que se elabora en planta (40cmx40cm, 18cmx55cm, 20cmx90cm, 20cmx120cm y 33cmx33cm). Se toma nota de los parámetros obtenidos para cada formato y se sobre escriben en las máquinas de carga y descarga, por último se guardan las partidas de cada formato y se generan ayudas visuales para que los operadores conozcan y mantengan con los parametros que fueron modificados.

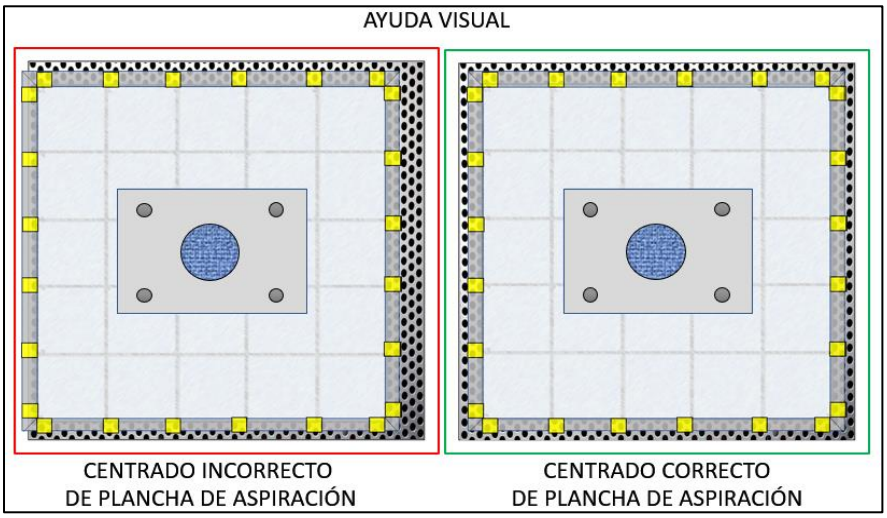


Figura 45 - Ayuda visual, centrado de plancha de aspiración. Fuente: Elaboración propia.

CENTRADO DE LAS CINTAS DE LA PLANCHA DE ASPIRACIÓN

Otro factor importante para asegurar una correcta carga y descarga de material es la posición de las cintas que se colocan a la plancha de aspiración. La finalidad de las cintas es evitar la perdida de la succión por parte de la plancha en caso de haber separación entre las piezas que conforman los estratos.

Estas cintas deben estar colocadas de forma simétrica sobre las intersecciones de las piezas que conforman el estrato así como en el espacio libre que queda entre el vertice del estrato y el vertice de la plancha de succión, por ende, el número de cintas necesarias para la plancha de descarga depende del numero de piezas que conforman el estrato, para el caso del formato de 40x40cm se necesitan 12 cintas, para el formato de 18x55cm se necesitan 17 cintas, etc.

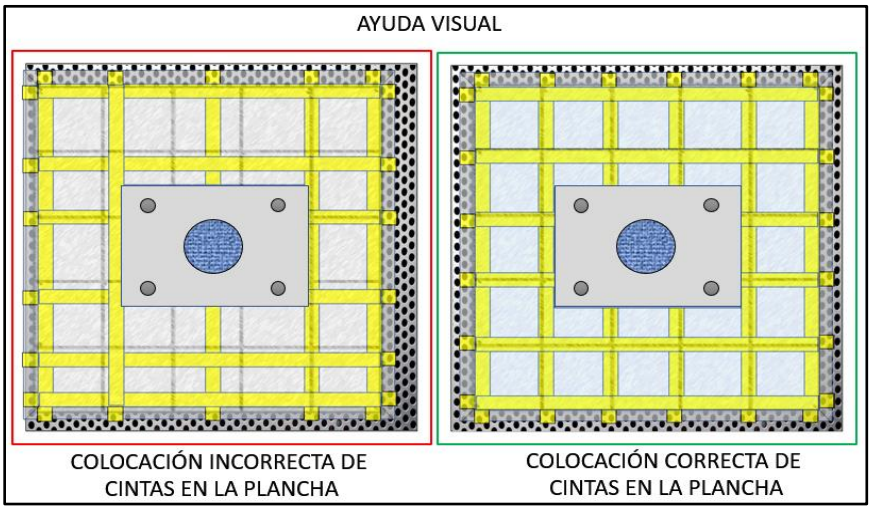


Figura 46 - Ayuda visual, colocación de cintas en plancha de aspiración. Fuente: Elaboración propia.

Este punto es uno de los que más variabilidad tiene, debido a que los operadores de las seleccionadoras pueden manipular la posición de las cintas ya que estas están fijadas a la plancha de la descargadora con correas tipo velcro, una opción para eliminar esta variable es cambiar las cintas por plantillas hechas a la medida para cada formato.

Estas plantillas estarían hechas del mismo material de las cintas y se usarían las mismas coordenadas que se obtuvieron al realizar el formado manual de los estratos en los contenedores para su fabricación, logrando de esta manera que coincida con la nueva configuración de parametros asignados a las máquinas de carga y descarga.

Al momento de realizar este proyecto se está gestionando la incorporación de este nuevo sistema de plantillas para el proceso de carga y descarga de producto cocido, por lo que aun no se encuentra implementado en planta Keramika.

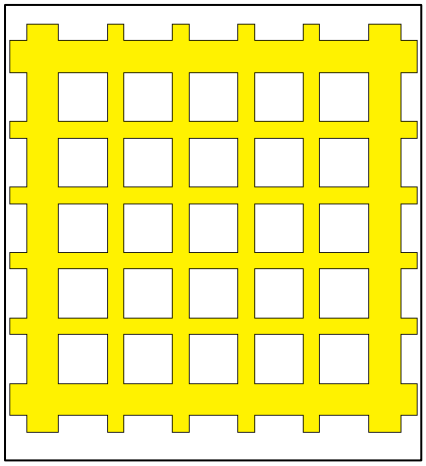


Figura 47 - Propuesta de plantilla para el formato 40cmx40cm. Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo los procedimientos descritos anteriormente se asegura la que la posición de carga y descarga sea la misma para cada formato en cualquiera de las máquinas incluidas las del departamento de selección, por lo mismo se evitará una gran cantidad de desperdicio por piezas rotas ya que se minimiza el riesgo de que se caigan los estratos al eliminar algunas de las variables del proceso.

3.7.7 REPARAR EL SUELO POR EL QUE TRANSITAN LOS LGV´s

Un LGV (Laser Guided Vehicle: Vehiculo Guiado por Laser) es un vehiculo usado en planta Keramika para el movimiento de contenedores de producto, tanto crudo como cocido, debido la gran capacidad de carga que tienen y el sistema autónomo con el que cuentan.

Al momento en el que un contenedor de producto alcanza la capacidad máxima establecida en el sistema de carga, se genera una señal en un sistema automatizado, esta señal es asignada a uno de los cinco LGV´s con los que se cuenta en planta Keramika para que este se dirija al punto de carga, levante el contenedor y lo deposite automáticamente en el punto de descarga asignado por el sistema. En caso de no haber ningun LGV disponible al momento de generarse una señal, esta se pone en espera junto con las demás señales que no han sido asignadas, el sistema asigna las señales a los LGV de acuerdo a la jerarquia de importancia que le sea programada.

Este proceso de transporte puede generar desperdicios tanto en el producto crudo como en el cocido debido a las malas condiciones del suelo por el que transitan los LGV´s, las grietas y agujeros que se han ido generando con el tiempo en el piso de la planta provoca que el material se golpee entre sí dentro de los contenedores, provocando defectos como desprtillado, raspado y piezas rotas.

Figura 48 - Transporte de contenedores mediante LGV´s. Fuente (Lamosa 2016)

Para la solución de este problema, se programó el servicio de reparación de las secciones del suelo que mayor tránsito tienen de LGV´s para los meses de julio y agosto de 2019. Con esta acción se busca minimizar el riesgo de generación de defectos dentro de los contenedores de producto crudo y cocido derivados del proceso de transporte.

3.7.8 MONITOREAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACCIONES IMPLEMENTADAS

Para asegurar que los operadores mantengan las condiciones establecidas en el cuarto, quinto y sexto punto de esta lista de actividades de mejora, se generó un check list que debe ser llenado por los operadores turno a turno y al finalizar el llenado, el supervisor y el personal de mantenimiento deben revisarlo, firmarlo y archivarlo ya que es un documento auditable. Este checklist contiene las siguientes actividades:

- Actividades de mantenimiento preventivo en las líneas de transporte de la salida del horno a las cargadoras.
- Actividades de mantenimiento preventivo a los carros de transporte o LGV.
- Actividades de mantenimiento preventivo a las máquinas de carga y descarga de producto cocido.
- Revisiones cada dos horas de los defectos que presenta el material de cada línea de horneado.
- Revisión del correcto centrado de los contendores
- Revisión de la cantidad de estratos que se están cargando en cada contenedor de producto cocido.
- Revisión de los parametros con los que están trabajando las máquinas de carga y descarga por parte del personal de mantenimiento.
- Revisión del estado de las cintas de las cargadoras y descargadoras, en caso de faltar cintas en alguna máquina o encontrarse deterioradas se reportará al supervisor en turno y al personal de mantenimiento.

En caso de ser necesario cargar los contenedores a una cantidad de estratos mayor a lo establecido, los operadores deben notificarlo al supervisor y ambos escribirán en el reporte a manera de minuta las razones por las que se tuvo que realizar la actividad de esa manera.

3.7.9 MEDIR EL DESPERDICIO DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN

En el mes de diciembre de 2019 se realizó la medición del desperdicio de la misma manera que se describió en el Paso 2 de la metodología, obteniendo los siguientes resultados:

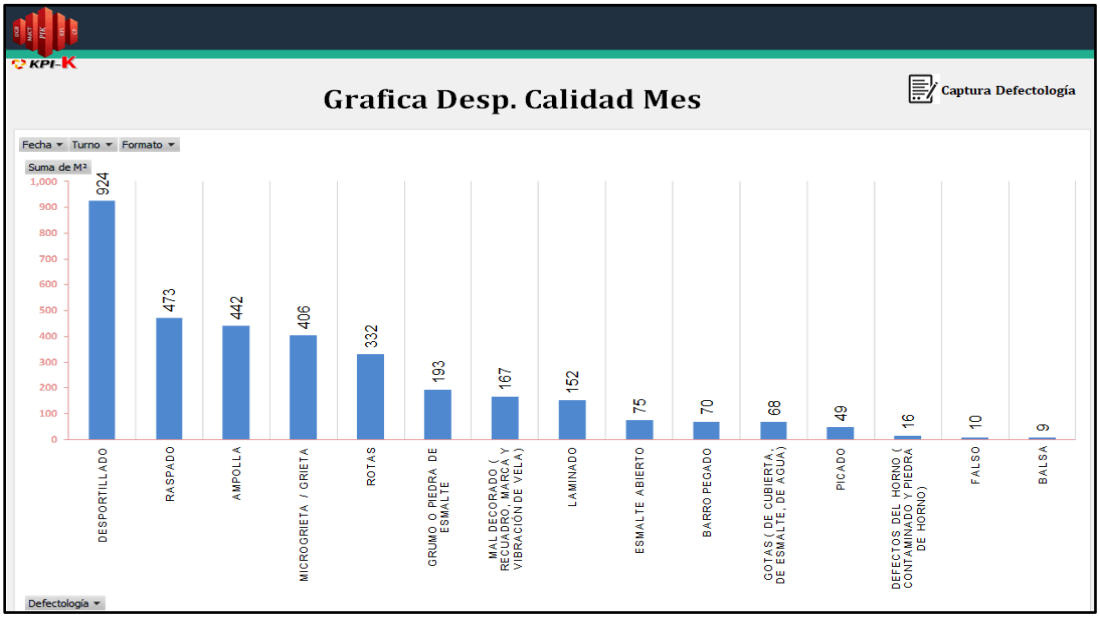
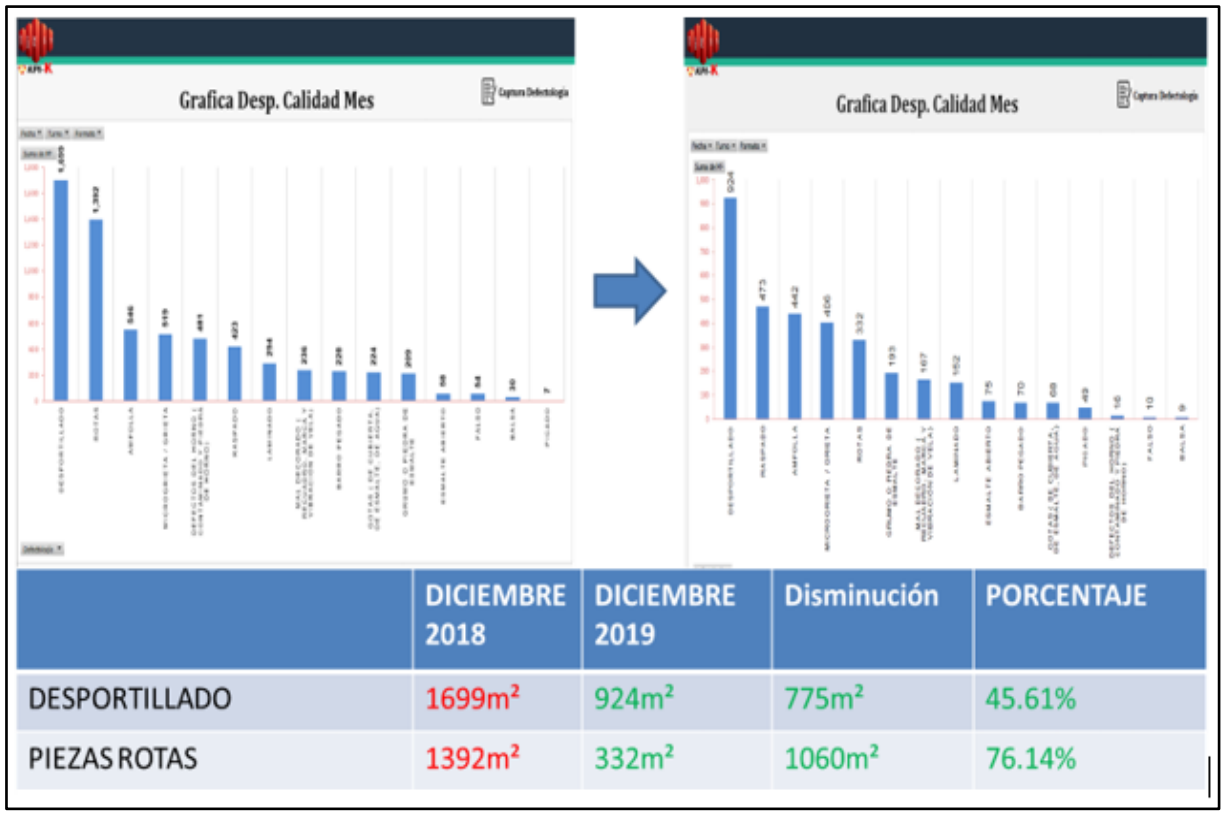


Figura 49 - Gráfica del desperdicio cocido en diciembre de 2019. Fuente (Keramika 2019)

Como se puede observar en la gráfica, los resultados obtenidos en el mes de diciembre de 2019 para los defectos que nos interesa reducir son los siguientes: **Desportillado: 924m², piezas rotas: 332m²**.

Comparando los resultados con los de diciembre de 2018, se tienen los siguientes resultados:

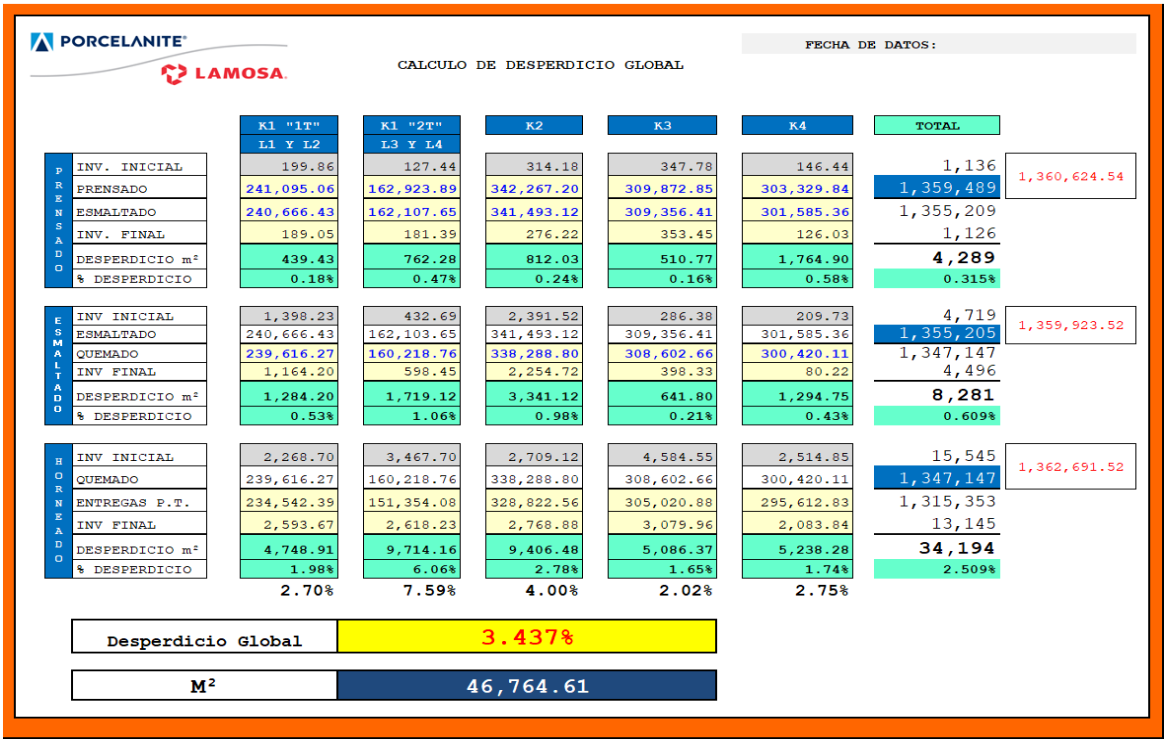


	DICIEMBRE 2018	DICIEMBRE 2019	Disminución	PORCENTAJE
DESPORTILLADO	1699m²	924m²	775m²	45.61%
PIEZAS ROTAS	1392m²	332m²	1060m²	76.14%

Figura 50 - Comparación del desperdicio generado en diciembre de 2018 y 2019. Fuente (Keramika 2019)

Como se puede observar en la figura anterior, con la implementación de las acciones de mejora se logró reducir la cantidad de metros cuadrados generados por desportillado, de 1699m² en diciembre de 2018 a 924m² en diciembre de 2019 lo cual corresponde a una disminución del 45.6%; también se logró reducir la cantidad de metros cuadrados generados por piezas rotas, de 1392m² en diciembre de 2018 a 332m² en diciembre de 2019 lo cual corresponde a una disminución del 76.1%.

En el Paso 4 de la metodología, se estableció como meta reducir al 40% las cantidades de desperdicio generadas a diciembre de 2018 por los defectos desportillado y piezas rotas, después de implementar las acciones de mejora se logró reducir en 45% y 76% respectivamente. Estas reducciones de desperdicio, combinadas con otros proyectos de mejora que se están implementando en planta en paralelo con el presente proyecto, dieron como resultado que en el mes de diciembre de 2019 se reportara un porcentaje global de desperdicio en planta Keramika del 3.43%, en la siguiente figura se desglosan los conceptos que se toman en cuenta para realizar el calculo del desperdicio global.



PORCELANITE LAMOSA

CALCULO DE DESPERDICIO GLOBAL

FECHA DE DATOS:

		K1 "1T" L1 Y L2	K1 "2T" L3 Y L4	K2	K3	K4	TOTAL	
PRENSADO	INV. INICIAL	199.86	127.44	314.18	347.78	146.44	1,136	1,360,624.54
	PRENSADO	241,095.06	162,923.89	342,267.20	309,872.85	303,329.84	1,359,489	
	ESMALTADO	240,666.43	162,107.65	341,493.12	309,356.41	301,585.36	1,355,209	
	INV. FINAL	189.05	181.39	276.22	353.45	126.03	1,126	
	DESPERDICIO m²	439.43	762.28	812.03	510.77	1,764.90	4,289	
	% DESPERDICIO	0.18%	0.47%	0.24%	0.16%	0.58%	0.315%	
ESMALTADO	INV INICIAL	1,398.23	432.69	2,391.52	286.38	209.73	4,719	1,359,923.52
	ESMALTADO	240,666.43	162,103.65	341,493.12	309,356.41	301,585.36	1,355,205	
	QUEMADO	239,616.27	160,218.76	338,288.80	308,602.66	300,420.11	1,347,147	
	INV FINAL	1,164.20	598.45	2,254.72	398.33	80.22	4,496	
	DESPERDICIO m²	1,284.20	1,719.12	3,341.12	641.80	1,294.75	8,281	
	% DESPERDICIO	0.53%	1.06%	0.98%	0.21%	0.43%	0.609%	
HORNEADO	INV INICIAL	2,268.70	3,467.70	2,709.12	4,584.55	2,514.85	15,545	1,362,691.52
	QUEMADO	239,616.27	160,218.76	338,288.80	308,602.66	300,420.11	1,347,147	
	ENTREGAS P.T.	234,542.39	151,354.08	328,822.56	305,020.88	295,612.83	1,315,353	
	INV FINAL	2,593.67	2,618.23	2,768.88	3,079.96	2,083.84	13,145	
	DESPERDICIO m²	4,748.91	9,714.16	9,406.48	5,086.37	5,238.28	34,194	
	% DESPERDICIO	1.98%	6.06%	2.78%	1.65%	1.74%	2.509%	
		2.70%	7.59%	4.00%	2.02%	2.75%		

Desperdicio Global	3.437%
M²	46,764.61

Figura 51 - Cálculo del desperdicio global. Fuente (Keramika, 2020)

3.8 PASO 7: Establecimiento de acciones de garantía

Para asegurar que los involucrados en los procesos de carga y descarga del producto cocido sigan implementando las acciones de mejora que se establecieron en el presente proyecto, se tomarán las siguientes medidas:

3.8.1 NORMALIZAR PRÁCTICAS OPERATIVAS

Se generarán instrucciones de trabajo para los siguientes procesos:

- Centrado de estratos en los contenedores.
- Ajuste de parámetros y colocación de cintas en cargadoras y descargadoras.
- Proceso estándar de carga y descarga de contenedores.
- Estiba máxima de estratos por contenedor, dependiendo de a la resistencia a la flexión por formato nominal.
- Mantenimiento preventivo a línea de transporte, cargadoras, descargadoras y LGV´s

Una vez generadas las instrucciones de trabajo, se buscará incluirlas en el sistema de gestión de calidad para asegurar que todo el personal asociado con dichos procedimientos los realice de manera estandarizada, se auditen cada determinado tiempo y se le dé un seguimiento puntual al cumplimiento de cada tarea especificada.

También se integrarán las ayudas visuales (Figuras 38, 39 y 40) para poder colocarlas en las áreas de trabajo y que los operadores tengan presente los métodos correctos de trabajo.

3.8.2 ENTRENAMIENTO EN LOS NUEVOS MÉTODOS.

Una vez que las instrucciones de trabajo y ayudas visuales sean autorizadas por el área de sistemas de gestión de calidad, se convocará a los operadores, electromecánicos y supervisores del departamento de selección para darles a conocer los procedimientos implementados, la participación de cada uno de ellos en dichos procedimientos, cual es el impacto obtenido en cuestión de disminución de desperdicios y costos, el aumento de la productividad, etc.

El entrenamiento se realizará en tres horarios diferentes para adaptarse a los tres turnos en los que se labora en Keramika: para el personal del primer turno se realizará a las 03:15 PM, para el personal del segundo turno se realizará a las 02:15 PM y para el personal del tercer turno se realizará a las 07:15 AM.

3.8.3 RECONOCER RESULTADOS Y DEFINIR NUEVOS OBJETIVOS.

A partir del mes de enero de 2020, se llevarán a cabo juntas mensuales con el personal de las distintas áreas que conforman el departamento de producción, en las cuales se darán a conocer los resultados obtenidos en cuestiones de desperdicio cocido y desperdicio global, durante la publicación de resultados se dará retroalimentación de los defectos que mayor generación de desperdicio registraron durante el mes y las medidas que se deben seguir para controlarlos.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

El presente proyecto se desarrolló en Keramika, una planta de revestimientos cerámicos perteneciente al Grupo Porcelanite – Lamosa. El problema que le dio origen al proyecto fue el porcentaje de desperdicio global reportado en diciembre de 2018 equivalente al 5%, el objetivo general del proyecto fue disminuir dicho porcentaje a 3.5% a diciembre de 2019.

Para llegar a esa reducción del porcentaje de desperdicio, se trabajó simultáneamente en las áreas que conforman el departamento de producción de la planta, en los capítulos anteriores se presentaron los resultados obtenidos en el área de carga y transporte del producto cocido, así como el proceso de descarga en el departamento de selección.

Se uso la metodología de los 7 pasos para el mejoramiento continuo para alcanzar los objetivos planteados, esta metodología se encuentra incluida en el modelo de calidad de Keramika y se eligió para la solución del problema descrito anteriormente debido a la flexibilidad que presenta al momento de la aplicación, ya que se desarrolla mediante técnicas fundamentales para las cuales no se necesita ser experto, por lo que se abre la posibilidad de formar equipos de trabajo en los que se incluya personal de todos los niveles de la organización.

Mediante el uso de esta metodología fue posible obtener datos de primera mano sobre los defectos que se clasifican como 2ª calidad y desperdicio, posteriormente se identificaron dos defectos críticos y los procesos en los que se generan. Mediante un análisis de causa – efecto se identificó que la causa de la generación de dichos defectos se encontraba en el bajo nivel de estandarización de los métodos, por lo que se trabajó para optimizar los procesos de carga, descarga y transporte del producto.

Una vez identificado el proceso que presentaba mayor cantidad de desperdicio cocido generado, se llevaron a cabo estudios del comportamiento mecánico del producto cocido mediante el análisis de elementos finitos, usando el software Abaqus/CAE. La simulación del estibado del producto en contenedores de 70 niveles (estratos) nos permitió conocer las zonas de las losetas en las que mayor probabilidad de rotura o desportillado existía, con lo cual se dio inicio a una nueva investigación del comportamiento físico del material mediante pruebas de resistencia mecánica bajo situaciones estáticas.

Se realizar pruebas destructivas en el laboratorio usando un instrumento llamado Crómetro, se obtuvieron los datos de las fuerzas máximas de carga soportadas por las losetas cerámicas antes de romperse, esta prueba se realizó a cada formato producido en planta, los resultados obtenidos nos permitieron concluir que la fuerza de carga ejercida en los contenedores de producto cocido de 70 niveles de estiba sobrepasaba su resistencia al rompimiento, por lo que se definió un número máximo de niveles de carga para cada

formato producido con lo cual se buscaría reducir la cantidad de material roto y desportillado en dicho proceso.

Una vez estandarizado el número de niveles de estiba por contenedor para cada formato producido en planta, se implementaron hojas de verificación para las condiciones de las líneas de transporte del producto cocido de las salidas de los hornos hacia las máquinas de carga, así mismo de las condiciones de trabajo de las cargadoras y descargadoras y de los vehículos mediante los cuales los contenedores son transportados para su disposición en el departamento de selección.

La combinación de los resultados obtenidos mediante la aplicación de las mejoras descritas en el capítulo 3 tuvieron un gran impacto en la reducción del desperdicio cocido ya que se logró disminuir en más del 40% los defectos generados en los procesos de carga y transporte, así mismo de logro la reducción del porcentaje global de desperdicio en planta pasando del 5% registrado en diciembre de 2018 al 3.43% registrado en diciembre de 2019.

BIBLIOGRAFÍA

Madenci, E. & Guven, Ibrahim (2016) The finite element method and applications in engineering using ansys, pp 1 – 13. Ed. Springer, Arizona.

Cardona B. Jhon J. (2013). Model for implementing Lean Manufacturing techniques in graphic industry, pp 19- 39. Menizales, Colombia.

Pinto, Andrés (2011). Materiales y materias primas, cerámicos, Capitulo VI. Argentina.

Jaramillo, Martín A. (2013) Guía del proceso industrial para la fabricación de baldosas cerámicas, pp 76 – 143. Loja, Ecuador.

Corredor, Ivonne (2015). Sin identificación de los 7 desperdicios, no hay lean, pp 17-36. Ciudad de México, Mex.

Ramírez, F. Ernesto (2017) Identificación y reducción de los niveles de desperdicio, desde la perspectiva de lean Manufacturing, pp 14-24. Chia, Colombia.

Ramírez C. Marco A. (2018). Manufactura esbelta. gráficos para la identificación y eliminación de desperdicios, pp 13- 29. Ciudad de México, Mex.

Arias F. Sergio (2015). Análisis Estático, Madrid, Disponible en http://sergioariasfernandez.com/analisis-estatico/