



División de Ciencias y Artes para el Diseño
Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño
Área 3 de Sustentabilidad Ambiental

**Propuesta de un proceso que utiliza vidrio recuperado en
la fabricación de objetos cerámicos**

Idónea comunicación de resultados que para obtener el grado de
Maestría presenta: D.I. Jaime Miguel Hernández González

Tutor: Mtro. José Leandro Mendoza Cuenca

Lector: Dr. Octavio Francisco González Castillo

Coordinador de Área: Dr. Alberto Cedeño Valdiviezo

México, Ciudad de México, 11 de noviembre de 2020

Dedicatoria

Agradezco la oportunidad para emprender esta etapa de formación académica a la Universidad Autónoma Metropolitana y el apoyo del CONCYT para llevarla a cabo.

A mis padres Valentina González Ocampo y Ramón Hernández Cortez por brindarme su apoyo incondicional.

A mi hermano Gustavo A. Hernández Gonzáles y a Cecilia D. Rivera Gámez por la motivación y el reto a trabajar cada día más.

A mi tutor, el Mtro. José Leandro Mendoza Cuenca y a los Maestros Luis Roberto Cruz Pérez y Karen Yarely Silva Salvador por la orientación desde el principio de esta aventura.

Al Mtro. Miguel Ángel Vázquez Sierra, a Berenice Hernández, al Mtro. Juan Ricardo Alarcón Martínez y al Arq. Daniel España por las facilidades otorgadas para realizar el trabajo en los talleres y laboratorios.

A cada uno de mis profesores que no sólo proporcionan la orientación y el conocimiento académico para concluir este trabajo de investigación, sino que aportan esas pequeñas lecciones de vida que enriquecen la formación personal.

Dr. Alberto Cedeño Valdiviezo

Dr. Octavio Francisco González Castillo

Dra. Margarita Juárez Nájera

Dra. Juana Martínez Reséndiz

Dr. Francisco Pérez Cortez

Dra. Diana Fuentes

Mtro. Marco Antonio Molina Zamora

Gracias

Contenido

Resumen.....	3
1. Introducción.....	3
1.1 Planteamiento del problema	7
1.2 Justificación del problema	7
1.3 Preguntas de investigación.....	8
1.4 Hipótesis de investigación	9
1.5 Objetivos de investigación	9
2. Antecedentes	10
3. Marco teórico.....	17
3.1 El desarrollo científico y el cambio de paradigma.....	17
3.2 Los discursos ambientales y la responsabilidad personal	22
3.3 El Desarrollo sustentable y los recursos naturales	24
3.3.1 La cerámica y las materias primas para su elaboración.....	27
3.3.2 El vidrio y sus características	30
3.4 La Ecología industrial y los recursos energéticos	32
3.5 El Ecodiseño y el desarrollo de productos.....	35
3.7 Producción más limpia.....	37
4.- Marco metodológico	39
4.1. Análisis de resultados.....	52
4.2 Evaluación de datos para integrarse a criterios de ecoeficiencia	57
5. Conclusiones.....	62
Bibliografía	66
Anexos	75
Registro de Prueba de sedimentación.....	75
Registro de Prueba de granulometría.....	77
Registro de Prueba de plasticidad.....	82
Registro de Prueba de encogimiento.....	88
Registro de Prueba de resistencia a la temperatura.....	93
Registro de Prueba de porosidad	98
Registro de Prueba de esfuerzo cortante	102

Resumen

En este trabajo de investigación se realiza la propuesta de integrar vidrio considerado residuo en la preparación de materia prima para la producción de cerámica, para disminuir la explotación y uso de arcillas, así como el consumo de recursos energéticos en la fabricación de piezas cerámicas. También se plantea que esta propuesta sea utilizada por una comunidad alfarera.

Para efectuar este estudio se realizaron pruebas de laboratorio con vidrio recuperado que se procesó para integrarlo a las fases requeridas para la fabricación de piezas cerámicas. También se utilizó la ecoeficiencia como la estrategia medioambiental, que permitió comparar los resultados obtenidos, y así configurar los procedimientos que se integraron a la propuesta planteada.

Palabras clave: Desarrollo Sustentable, Cerámica y Vidrio

1. Introducción

El desarrollo económico y social en nuestro país se sustenta en la extracción de recursos naturales¹ para la obtención de materias primas. En esta primera actividad se requiere el uso de recursos energéticos², tanto renovables como no renovables. Cantidad que se sumará a las subsecuentes etapas de transformación, almacenaje y traslado de materiales para la fabricación de productos.

Se debe tener presente que si el consumo de los recursos sobrepasa su capacidad de sustitución, habrá un desequilibrio tanto de materiales como de recursos energéticos. Por ello se requiere disminuir el uso de recursos naturales no renovables por medio de la reducción, reutilización y el reciclaje de materiales

¹ México es uno de los principales países proveedores de minerales del mundo, en el 2015 ocupó el lugar 17 en la producción total de minerales, con un valor de 209,326 millones de dólares (Bastida, 2019:185).

² La Secretaría de Energía se encarga de garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional por medio de la generación de electricidad e hidrocarburos como insumos para la economía y la prestación de servicios públicos (SENER, 2019).

procesados que sirvieron o que ya cumplieron su propósito, pero que se les puede aprovechar para un fin diferente para el que fueron concebidos.

Se puede reducir el consumo al utilizar productos con una vida útil más larga, también se puede reutilizar al emplear un residuo, sin que se aplique un proceso de transformación, y seguirlo utilizando con la función para la que fue concebido o con otro fin distinto (RAE, 2019). Por último se puede reciclar un residuo al someterlo a un proceso y volverse a utilizar, transformando los materiales de los residuos a través de distintos procesos para restituir el valor económico (PGIRS, 2016).

Alex Pascual en su obra *Stop Basura: La verdad abreviada sobre reciclar* (2016) menciona que al reciclar el residuo se vuelve un recurso; al hacer que el residuo vuelva a circular y reintegrarse en el mercado con un valor económico, con beneficios tanto económicos como ambientales (Pascual, 2016:4).

También es necesario utilizar menos energéticos para la extracción, transformación y reutilización de materias primas debido a que la energía que se utiliza en estos procesos, se obtiene en gran parte por medio de la explotación y la quema de combustibles fósiles. De acuerdo con lo que menciona Noboru Takeguchi en su texto *Energía y medio ambiente* (2014), se genera a nivel mundial³ el 56.6% de CO₂⁴ al usar petróleo, carbón y gas natural (Takeguchi, 2014:17).

Sin embargo, al estar inmersos en un sistema que incita al ciclo adquirir-consumir-desechar, en el que se requiere de mayores insumos para continuarlo, se realiza una sobreexplotación y, por lo tanto, una alteración del medio ambiente.

La ONU indica que en un periodo de 30 años habrá en los océanos más desechos plásticos que peces⁵. Esto debido al incremento de productos de un solo

³ Takeuchi retoma el dato del IPCC *4th assessment report climate change 2007*

⁴ En México en 2015 las emisiones de CO₂ se incrementaron 54% con relación a cifras de 1990, <https://www.excelsior.com.mx/nacional/sube-54-la-contaminacion-generada-por-mexico/1255468>

⁵ Esta proyección la realiza el Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA) además de instar a los gobiernos para que aprueben políticas de reducción de plásticos (ONU, 2017).

uso, desechables y de vida útil breve. Por lo que una alternativa es el uso de productos cerámicos con una vida de uso mayor, en la que se pueda integrar un material como el vidrio considerado residuo, y así mejorar la eficiencia en la producción de piezas cerámicas.

La producción de cerámica requiere el uso de recursos energéticos como: leña, gas o electricidad, los cuales son un recurso no renovable y estos son utilizados a lo largo de su cadena productiva. Emilio Galán y Patricia Aparicio en su texto *Materias primas para la industria cerámica* (2006) mencionan que la primera etapa es la selección y preparación de materias primas (Galán, 2006:31).

En nuestro país, las comunidades alfareras disponen de yacimientos de arcillas que están a su alcance y realizan la extracción por excavación, ya sea por lavado o en seco (Oliveras, 2004:27). También existen empresas que se dedican a la comercialización de materiales estandarizados y estas utilizan la minería a cielo abierto con cargas explosivas que impactan en el ambiente⁶.

No obstante, si se integran procesos que contemplen el uso de materiales procesados y el menor uso de combustible para hacer más eficiente el proceso de producción de cerámica, se obtendrá un producto con un mayor valor en el mercado.

Refiriéndose al término proceso como lo define la RAE en el aspecto de ser un conjunto de fases sucesivas de una operación. Agregando que las actividades están interrelacionadas, y que cumplen un objetivo completo con un ciclo de actividades que tiene un inicio y un fin. En las que se utilizan máquinas, energía, recursos y mano de obra (Mallar, 2010:7).

Además de que se puede mejorar en el proceso de producción de cerámica y con esto agregarle una ventaja comercial, se presentan campañas que promueven el uso de la cerámica.

⁶ Se cavan profundos cráteres mediante explosiones sobre la tierra, lo que contamina los mantos acuíferos y el medio ambiente (Bastidas, 2018:39).

El proyecto “Más arcilla, menos plásticos⁷” fundado por la alfarera Lauren Moreira anima a las personas a elegir la cerámica en lugar de materiales plásticos, al resaltar las ventajas del uso de estos productos y el respeto al medio ambiente.

La reutilización de residuos es una buena fuente de materia prima, ya que a lo largo de la historia el ser humano ha producido desechos, pero es ahora en esta sociedad de consumo, donde el volumen de los desperdicios se ha incrementado considerablemente (IRSCDMX, 2018).

La mayoría de los residuos considerados desperdicios se pueden convertir en recursos que podemos utilizar total o parcialmente para disminuir el agotamiento de recursos naturales. Aunque la principal resistencia de las sociedades al cambio es la fuerte barrera en cuanto a romper el ciclo establecido de adquirir-consumir-desechar⁸, impuesto por los medios de comunicación dominantes, un tanto por ser lo más cómodo y otro por servir al sistema. Aquella conspiración comercial como lo menciona Bauman en su obra *Modernidad líquida* (Bauman, 2001:87)

Aunado al ahorro de materiales se debe considerar el ahorro de combustibles, importantes para el funcionamiento de nuestras actividades diarias. Debido a que el 80% de la energía es producida por petróleo, carbón y gas natural, es poco probable que en un futuro cercano dejemos de usar estos recursos no renovables que son sobreexplotados (Takeuchi, 2014:8).

Aunque se desarrollan fuentes alternas que ganan terreno poco a poco, la implementación de estas, dependerá de las políticas que cada gobierno efectúe. Así como de las acciones que adopten las empresas con enfoque de bajo impacto

⁷ El proyecto nace en Italia y promueve la toma de conciencia del impacto que supone utilizar plástico en objetos que están en contacto con los alimentos. Haciendo hincapié en los beneficios que conlleva el usar objetos cerámicos, tanto en su uso como en su producción (Infocerámica, 2017).

⁸ “Reciclar en la oficina o en el hogar requiere de un esfuerzo extra para separar los materiales. Siempre será más conveniente el hábito de arrojar todo hacia afuera”, además de clasificarse, se deben limpiar y procesar los residuos. Así lo menciona la empresa Arcediano Recuperaciones, Gestora Integral de Residuos en Madrid , recuperado en <https://www.arcedianorecuperaciones.com/que-es-reciclar/>

ambiental. Con ayuda de investigaciones que aborden la temática del reciclaje y el ahorro de combustibles fósiles.

1.1 Planteamiento del problema

Con este trabajo de investigación se quiere evaluar si agregar vidrio recuperado como materia prima en un compuesto cerámico, hace que la producción de piezas cerámicas sea más eficiente. Por medio de pruebas a compuestos con vidrio. Pruebas de plasticidad, encogimiento, resistencia a la temperatura, porosidad y esfuerzo cortante. Para comparar los datos obtenidos en los diferentes experimentos y establecer si se puede reducir la temperatura de cocción de las piezas cerámicas, la explotación de bancos de arcilla y el uso de combustibles para la cocción en hornos para cerámica.

Y que esta propuesta pueda ser utilizada por alfareros de una comunidad de alfareros de nuestro país.

1.2 Justificación del problema

La reutilización de materiales considerados desechos, son una opción para disminuir el uso de materias primas vírgenes. Los envases de vidrio de un solo uso, representan casi un 20% de la industria del envase en México⁹. Dichos envases una vez que son desechados van a parar a rellenos sanitarios, son recolectados y llevados a centros de acopio o son recuperados por medio de programas como los mercados de trueque en la CDMX, en los que se recuperan 37 toneladas de vidrio (IRSCDMX, 2018:128), y de acuerdo con datos del INEGI, el promedio diario de vidrio recolectados en los centros de acopio de residuos sólidos urbanos en nuestro país es de 62,052 Kg¹⁰.

⁹ Dato obtenido de Milenio Diario, S.A. de C.V., en línea, Miriam Ramírez, con fecha del 18 de octubre de 2015 <https://www.milenio.com/negocios/vidrio-solido-mexico-produccion-crecera-3>

¹⁰ La Ciudad de México ocupa el primer lugar con 29 285 kg de vidrio recolectado por día, le sigue el estado de Jalisco con 12 955 kg, Oaxaca con 2 783 kg, Sonora con 1 070 kg, Estado de México con 953 kg, Guanajuato con 875 kg (INEGI, 2013)

El vidrio es un material que se puede reciclar, empresas como Vitro lo reintegra a su sistema de producción (VITRO, 2017) por tener la infraestructura para su procesamiento, pero a nivel local se puede aprovechar con pocos recursos adicionales si se integra a la producción de piezas cerámicas en talleres familiares, ya que la industria de cerámicos en el 2019 tuvo una proyección de valor de mercado de alrededor de 24 mil millones de pesos¹¹ y una parte está conformado por talleres familiares de artesanos. Tan solo en el Estado de México hay registrados 4,313 artesanos dedicados a la alfarería y cerámica (IIFAEM, 2020).

Al integrar el aprovechamiento del vidrio post-consumo en el proceso de producción de piezas cerámicas y utilizar una estrategia medioambiental que nos ayude a observar y medir la eficiencia que representa el uso de vidrio recuperado, se puede facilitar que los alfareros utilicen la propuesta del proceso que se plantea en este trabajo de investigación.

1.3 Preguntas de investigación

En este trabajo de investigación se planteó la pregunta general: ¿Cuáles son las ventajas económicas y ambientales de integrar vidrio recuperado en las etapas de producción para la elaboración de piezas cerámicas?

Para lo cual se establecieron las siguientes preguntas particulares:

- ¿Cuáles son las etapas que se utilizan en la fabricación de un objeto cerámico en los que se pueda integrar el uso de vidrio recuperado?
- ¿Qué características y que proporción de arcilla, vidrio y temperatura es la adecuada para obtener un ahorro energético en el proceso de producción de cerámica?

¹¹ Consultado en línea <http://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=838&t=industria-ceramica-y-ladrillera-en-mexico-supera-los-30-mil-mdp>

- ¿Cuáles son las características mecánicas y físicas que se mantienen al cambiar la proporción de arcilla, vidrio y temperatura en el proceso de producción de cerámica?

1.4 Hipótesis de investigación

Con lo anterior se planteó la hipótesis siguiente: Si se agrega vidrio molido recuperado en una proporción no mayor al 20% del peso de una arcilla ferrosa, se podrá obtener un compuesto, que durante el proceso de cocción reduzca en 50°C el punto de sinterización, para así disminuir un 5% en el tiempo de cocción y la cantidad de combustibles, obteniendo piezas con menos porosidad y reducir el impacto en el ambiente al emitir menos gases en la atmosfera.

1.5 Objetivos de investigación

El objetivo general que se estableció para esta investigación fue el de: Proponer un proceso que integre una etapa en la que se utilice vidrio recuperado para la fabricación de piezas cerámicas.

Los objetivos particulares planteados que se consiguieron en esta investigación son los siguientes:

- Identificar los procesos en los que se puede integrar el uso de vidrio recuperado para la elaboración de objetos cerámicos.
- Determinar las características, proporciones de arcilla, vidrio molido y temperatura de quema para realizar pruebas de resistencia y porosidad.
- Evaluar las características mecánicas y físicas que se mantienen en las pruebas con las diferentes probetas al cambiar la proporción de arcilla, vidrio molido y temperatura.

2. Antecedentes

Para establecer una aproximación al estado del arte en esta investigación se retoma lo que menciona Ragnhild Guevara en su texto *El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos?* (2016), al indicar que “es un caleidoscopio que nos ofrece diversas imágenes de nuestro objeto de estudio” y nos ofrece la posibilidad de elegir de ellas la que tiene mayor claridad para ofrecer el mejor panorama de investigación (Guevara, 2016:168).

Por lo que se desarrollan dos aproximaciones conceptuales del estado del arte. La primera se define como una revisión de propuestas investigativas, publicaciones en revistas de investigación científica, con fecha no mayor a 5 años, pero sin descartar publicaciones anteriores. La segunda como una revisión de propuestas comerciales que están vigentes y con proyecciones a corto y largo plazo.

Los estudios sobre la reutilización del vidrio en la cerámica, así como las pruebas realizadas para corroborar que conlleva un beneficio, se establecen y se orientan hacia el aprovechamiento de recursos considerados desperdicios y la disminución de recursos tanto materiales como energéticos, sin dejar de lado valores y aspectos éticos en los que el reciclaje trasciende situaciones personales para dirigirse a lo colectivo.

El Dr. Silvio Delvasto en su artículo *Viabilidad de uso del polvo de vidrio como fundente en la elaboración de baldosas de gres porcelánico* (2015) realizó junto con otros investigadores un estudio, en el que emplearon polvo de vidrio como sustituto de feldespato en la elaboración de un material, que sería aprovechado en la fabricación de piezas cerámicas.

En la investigación utilizaron dos porcentajes de polvo de vidrio de ventana, y explicaron que lo usaron por contener óxidos alcalinos K_2O y Na_2O , además de óxidos alcalinotérreos como CaO y MgO , elementos eficientes para promover la fundición y formación de fase líquida.

La mezcla fue quemada en un rango de temperatura entre 1100 y 1450°C¹². Los resultados mostraron una disminución del poro abierto en las piezas, con lo que se obtuvo una pieza que absorbe menos agua, pero no hicieron el comparativo de la ventaja de menor absorción con el incremento de peso. Lo que sí realizaron, fue un comparativo de quema en la que redujeron la temperatura en 150°C.

En la prueba observaron un ahorro energético en piezas que poseían características similares en relación a su resistencia. A pesar de que utilizaron vidrio de ventana, el cual es un material más difícil de procesar que el de botellas, y manejar una temperatura considerada alta, ya que es mayor a 1200°C. Se retomó de esta investigación el aspecto metodológico y la presentación de resultados.

A partir del artículo anterior, se buscaron otras investigaciones relacionadas con la sustitución de materiales y en la misma temática el Ing. Jerrison Delgado Trujillo en su texto *Reemplazo del cuarzo por ceniza de tamo de arroz en la manufactura de gres porcelánico* (2015), dirigió una investigación en la que sustituyó cuarzo por tamo de arroz en un compuesto para la fabricación de piso cerámico.

El artículo hace mención de las características para la selección del material, pero dichas características se aplicaron a un trabajo de laboratorio y se consideró la posibilidad de escalarlo a su uso en una comunidad, ya que la adquisición de equipo especializado conlleva un gasto y la selección del material respondió al uso de un residuo que a pesar de tener otras aplicaciones, se planteó como sustituto de materia prima para la elaboración de objetos cerámicos.

Las pruebas que se realizaron en este texto, son las que se aplicaron a este trabajo de investigación, por lo que se retomaron y se adecuaron a los recursos disponibles dentro y fuera de la UAM. La normativa mencionada para las pruebas y para el producto acabado se tomó en consideración para este trabajo.

¹² Una temperatura mayor a los 1200°C está considerada en el rango de alta temperatura, aunque la porcelana tiene un proceso de cocción entre 1300 y 1450°C, lo que la hace impermeable, recuperado en <https://www.fromfran.com/blog/2018/10/16/a-que-temperatura-se-quema-la-ceramica>

En el mismo sentido la Dra. María Azucena González Lozano en su texto *Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla* (2012), realizó un trabajo de investigación y utilizó polvo de vidrio como sustitución de materia prima en porcentajes de 5%, 10% y 15%. El vidrio se obtuvo de botellas transparentes que se molieron hasta que se obtuvo un material que pasó por malla 50. Se retomó la prueba de absorción de agua y su referencia a la norma ASTM¹³ C67. También se consideró la justificación en relación con los beneficios de utilizar materiales de desecho y las ventajas que tienen tanto económicas como de reducción de impacto al ambiente.

Las pruebas son las que determinaron el análisis y el resultado de este trabajo, pero para eso se realizó una selección del material y el trabajo presentado por el Ingeniero metalúrgico José Darío Santos Amado en su texto *Caracterización de arcillas y preparación de pastas Cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander* (2011), nos proporcionó herramientas y criterios para seleccionar la muestra para este trabajo.

Las características físicas, químicas y mineralógicas de las arcillas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito arcilloso. Por lo que para este trabajo se consideró el uso de material tomado directamente de los yacimientos en forma aleatoria y la compra de material estandarizado que se comercializa para la industria cerámica.

En el primer caso se realizó una caracterización para obtener un material homogéneo con características que se alinearon a las normas NTC 2086 y NTC 4205. La primera establece los requisitos que deben cumplir los materiales y los ensayos a que deben someterse las tejas cerámicas esmaltadas o no y que son utilizadas para cubiertas, obtenidas por moldeo (prensado) o extrusión de una pasta de arcilla y la segunda para bloques cerámicos. También menciona que una

¹³ Creada en 1898, la ASTM International es una organización que desarrolla normas voluntarias por consenso. Normas que establece parámetros y requisitos de procedimientos y regulaciones para productos y servicios. Debido a su calidad, “son sensibles y pertinentes a las necesidades del mercado global”, recuperado en <https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html#anchor2>

arcilla apta para la fabricación de cerámicos de construcción debe tener un contenido de SiO₂ entre 50 y 60%, así como entre 20 y 30 % de Al₂O₃, por lo que en este trabajo no se realizó una mezcla con un porcentaje mayor al 50% de vidrio molido, pero se dejó abierta la posibilidad de aumentar el porcentaje de vidrio si la aplicación es para un uso decorativo.

A su vez la Mtra. Mariarosa Raimondo en su investigación titulada *Effect of waste glass (TV/PC cathodic tube and screen) on technological properties and sintering behaviour of porcelain* (2007), indicó que se puede reciclar los elementos de televisores y computadoras, pero por contener elementos peligrosos de manejo delicado su reciclaje sería posible de manera industrial. Sin embargo, presentó datos que indican que al agregar vidrio molido de dos tipos, el de tubos catódicos y el de pantallas de computadoras, se logra disminuir el punto de sinterización y por lo tanto representa un ahorro en el uso de energéticos.

Lo anterior sin perder propiedades mecánicas en las piezas sometidas a pruebas de resistencia. Por lo que, en el trabajo de investigación se agregó vidrio molido de botellas y se realizaron pruebas similares, para contrastar que al agregar vidrio molido de botella en un gres cerámico que fue quemado a una temperatura media que no rebasara los 1150°C los resultados fueran similares a los expuestos.

En el mismo sentido la Dra. Fernanda Andreola en su texto *Recycling of EOL CRT glass into ceramic glaze formulations and its environmental impact by LCA approach* (2007), utilizó vidrio de desecho electrónico, indicando que se incrementó su volumen y que se podría aprovechar como sustituto de materia prima en la formulación para un vidriado y ser el reemplazo de una formulación comercial. Para lo cual realizó un comparativo de los impactos que se generaron en la producción de ambas formulaciones con el programa Sima Pro 5.0 y el Eco- indicador 99¹⁴.

¹⁴ “Los Eco-indicadores son números que expresan el impacto ambiental total de un proceso o producto”, se utiliza en el Análisis de Ciclo de Vida en el que se suman milipuntos de acuerdo a los materiales, procesos, uso y disposición final, con respecto a tablas con valores establecidos, retomado de <https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html#anchor1>

Los resultados que presentó este texto se encaminan a que el uso de vidrio reutilizado tiene un menor impacto en el ambiente. Por lo que fueron un referente para este trabajo de investigación en el cual se realizó un comparativo de características pero no un análisis de ciclo de vida. Debido a que este conllevaría un estudio más extenso que requiere más tiempo que el establecido para este trabajo.

En el trabajo del Ingeniero Francesco *Matteucci* titulado *Effect of soda-lime glass on sintering and technological properties of porcelain stoneware tiles* (2002), presentó datos que demostraron que la adición de un vidrio de soda-cal no modificaba sensiblemente el comportamiento tecnológico durante prensado y secado de las baldosas, además de que a mayor cantidad de vidrio se aceleró la sinterización, con lo que se disminuyó el uso de energéticos.

En el texto no mencionó el tamaño de partícula del vidrio molido, además de hacer las pruebas con vidrio flotado y de envase pero en las conclusiones no hizo mención si presentaba diferencias. Además mencionó que había una diferencia significativa entre las muestras a las que se agregó un 5% y un 10%. Por lo que se tomaron en cuenta estos porcentajes como punto de partida y se incrementaron hasta alcanzar el 50%, y se realizó la comparación de características y se analizaron los resultados. Lo anterior con el uso de polvo de vidrio de botellas y una temperatura de quema no mayor a 1140°C.

Por otro lado se toma en cuenta el texto de la psicóloga Beatriz Carmona Moya titulado *Capacidad predictiva de la identidad ambiental y los valores sobre el reciclaje de vidrio: efecto del medio ambientalismo y el aprecio por la naturaleza* (2017), en el que hizo referencia a la actitud, la intención de conducta futura y la frecuencia de conducta de reciclaje de vidrio con respecto a las dimensiones de identidad, aprecio por la naturaleza y medioambientalismo.

De este artículo se extrajo lo concerniente a que los valores cuando menciona que son un factor relevante a tener en cuenta en el ámbito de las cuestiones sobre recuperación y consumo de recursos, y de que corresponden con las preferencias y metas que caracterizan los estilos de vida de las personas.

Además de que se pueden agrupar en valores personales y valores de trascendencia que benefician a otros y al medioambiente. Por lo que se consideró que una vez realizadas las pruebas, el análisis y la presentación de resultados, estos se debían integrar a la comunidad, ya sea como una extensión de esta investigación o en una posterior.

John Thackara menciona que se pueden buscar soluciones probadas para no partir de cero, y que se puede poner el conocimiento existente en un nuevo contexto para generar nuevas soluciones (Thackara, 2013:14). Por lo que, realizar una revisión del uso que las empresas le dan al vidrio recuperado, nos indicó cual es el grado de procesamiento que recibe este, al integrarlo a sus productos.

La revisión de la información que proporcionan en sus páginas de internet siete empresas que comercializan productos fabricados con vidrio reutilizado, hace énfasis en que reutilizar vidrio conlleva un beneficio ambiental, ya que es un residuo que se recupera y con esto se disminuye el uso de materias primas vírgenes como el sílice y resinas sintéticas.

El ahorro en el uso de materias primas vírgenes es uno de los enfoques que se utilizó en esta investigación, para lo cual se buscó y ordeno la información de empresas, desde las que utilizan el vidrio sólo con un proceso de separación y de molienda hasta las que lo integran en su línea de producción como una materia prima que transforman para elaborar productos de consumo.

Los diferentes niveles de procesamiento están relacionados con el producto a fabricar, pero en todos ellos el principio es la limpieza, la separación y la clasificación, para tener un producto homogéneo. Ya sea para una cuestión estética en la que los colores sean similares o para que sus componentes no afecten las propiedades mecánicas de los productos elaborados con el material recuperado.

El análisis de las empresas en la tabla 1 se realizó para establecer el nivel de uso que se le da al vidrio recuperado, el cual puede ser comercializado en un primer nivel como un producto ornamental sin procesamiento químico. Un segundo nivel

se puede observar cuando el material se caracteriza y estandariza para ser vendido como materia prima para otras industrias y un tercer nivel cuando las empresas lo introducen a su línea de producción para la fabricación de productos de consumo.

El nivel que se adoptó en este trabajo es el tercero en el que se aprovecha el vidrio en el ciclo de producción de objetos cerámicos.

Tabla 1 Revisión de empresas que utilizan vidrio recuperado

	Empresa	Giro comercial	Utilidad que le dan al vidrio
1er Nivel	 TR TRITURADOS ROMERAL S.A. <small>Piedra ornamental para jardín y decoración</small> Murcia, España.	Triturados Romeral S.A. se dedica a la extracción y procesamiento de material para la construcción.	Productos reciclados de vidrio o de recipientes de vidrios industriales, que se utilizan para el diseño de espacios abiertos, en decoración tanto exterior como interior.
2do Nivel	 MARPHIL Madrid, España.	Empresa dedicada a la venta de materiales para la industria cerámica.	El Vidrio Molido se suele utilizar para modificar el coeficiente de dilatación de los esmaltes y como fundente.
3er Nivel	 SUMIGLAS S.A. <small>tecnología al servicio de las necesidades constructivas</small> Medellín, Colombia.	Se dedicada a la comercialización de materia prima.	El vidrio se utiliza como una carga que ofrece al mármol sintético alta resistencia a la abrasión y colores estables y duraderos.
	 Vitro México.	Vitro, S.A.B. de C.V., es uno de los fabricantes de vidrio líderes del mundo.	Se reingresa al ciclo de producción el vidrio recuperado a través del "Programa de Reciclaje de Vidrio".
	 Planas <small>MOSAICS* TERRAZOS, MARBRES I GRANITS</small> Genova, España.	Empresa que se dedica a la producción, venta y distribución de terrazo.	El terrazo se utiliza como piso tanto en pavimentos como en revestimientos de interiores y exteriores.
	 POLYDROS, S.A. Madrid, España.	Empresa dedicada desde 1961 a la fabricación de productos de vidrio celular.	El vidrio celular utilizado como abrasivo natural o como un excelente aislante térmico.
	 MAGNA <small>GLASKERAMIK</small> Loitsche, Magdeburg, Alemania	Es uno de los principales comerciantes y productores de piedras naturales en Europa Central. Fabrica y distribuye GlasKeramic.	Un material de construcción e interiorismo fabricado casi en su totalidad con material rechazado de la producción industrial y de vidrio de botella y que también puede reciclarse por completo.

Elaboración propia con base en la revisión de las páginas de internet de las empresas

3. Marco teórico

André Ricard en su obra *La aventura creativa, Las raíces del diseño* (2000) indica que el destello innovador “no puede surgir en el vacío, ha de existir un terreno fertilizado por el conocimiento en el que pueda surcar la intuición” (Ricard, 2000:105). Aquella intuición debe sustentarse en la razón en el sentido de un orden que prepare las condiciones necesarias para la acometida creativa en nuestro espacio mental.

Para este trabajo de investigación se estudiaron autores que establecen el cambio de paradigma de una visión antropocéntrica a una visión ecológica, tomando en cuenta la complejidad de los problemas globales, que están en interconexión en el espacio en que habitamos con un enfoque holístico, que integre las diferentes disciplinas, reforzando los valores éticos sin dejar de lado la responsabilidad de nuestros actos.

3.1 El desarrollo científico y el cambio de paradigma

La ciencia es nuestro lente para la comprensión del mundo, así lo menciona Thomas Kuhn en su obra *La estructura de las revoluciones científicas* (1962). En ella utiliza la noción de paradigma como “toda la constelación de creencias, valores y técnicas, que comparten los miembros de una comunidad dada” y agrega que “los hombres cuya investigación se basa en paradigmas compartidos están sujetos a las mismas reglas y normas para la práctica científica” (Kuhn, 1994:34).

Por lo que el paradigma dominante conduce a una limitación en la visión de los científicos y es el fundamento de las investigaciones subsecuentes. Kuhn llama a esta práctica ciencia normal (Kuhn, 1994:110). Práctica que presenta resistencia a los cambios radicales y en este sentido Rolando García en su obra *Sistemas complejos Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria* (2006) menciona que los cambios no fueron producidos por aquellos que encontraron nuevas respuestas a viejas preguntas, sino por aquellos que pudieron formular nuevas preguntas con respecto a viejos problemas (García, 2006:150), reemplazando y haciendo uso de un nuevo paradigma.

Reemplazar un paradigma trae consigo un cambio en la forma de hacer investigación científica y por lo tanto se establecen nuevos métodos e instrumentos, así como el adoptar un nuevo punto de vista para abordar lugares previamente observados. Los nuevos paradigmas son capaces de resolver problemas de mayor complejidad y cuando estos ya no sean capaces de explicar fenómenos conocidos, se llevará a cabo otra sustitución de paradigma, con su respectiva resistencia al cambio, pero que dará lugar al progreso de la ciencia (Kuhn, 1994:176).

Edgar Morin en su obra *Introducción al pensamiento complejo* (1990) indica que el paradigma de simplificación es el que domina, desde el siglo XVII, tanto en el progreso del conocimiento científico como en el de la reflexión filosófica. Y que a pesar de los avances de la ciencia en sus diferentes disciplinas; estas se han aislado, lo que ha provocado de un modo mutilante la organización del conocimiento. Lo que dificulta la capacidad de reconocer y de aprehender la complejidad de lo real (Morin, 2011:28).

Porque al trabajar de forma conjunta con otras disciplinas se puede lograr la integración de los diferentes enfoques y analizar desde diferentes perspectivas tanto la delimitación de la problemática como el proceso de trabajo y la misma integración de resultados (García, 2006:33).

Actualmente, asistimos a un “cambio de paradigma en la física como parte integrante de una transformación cultural más amplia”, y esto se retoma del enfoque que expone el Dr. Fritjof Capra en su obra *La trama de la vida* (1998), en el que resalta que este cambio no sólo es en la ciencia, sino también en el más amplio contexto social.

Capra retoma el concepto de paradigma científico y lo generaliza para describir al paradigma social como “una constelación de conceptos, valores, percepciones y prácticas compartidos por una comunidad, que conforman una particular visión de la realidad que, a su vez, es la base del modo en que dicha comunidad se organiza”, para realizar sus actividades inmersos en un sistema económico, político, social y medioambiental (Capra, 1998:27).

Para abordar los temas medioambientales se debe realizar un cambio de paradigma, de una visión antropocéntrica a una ecológica, en la cual se reconoce el valor inherente de la vida no humana y se considera a todos los seres vivos como miembros de “comunidades ecológicas vinculados por una red de interdependencias” en el que los problemas y las soluciones deben ser globales. Problemas y soluciones que no pueden ser entendidos de forma aislada (Capra, 1998:32).

El trabajo de la Bióloga Rachel Carson (1962) plasmado en el texto *Primavera silenciosa*, en el que expuso el impacto que causaba el abuso de los pesticidas químicos en el ambiente se toma como punto de partida para estudiar el alcance de los impactos en los sistemas ecológicos, como lo menciona Lovelock en su texto *La venganza de la Tierra* (2007), obras que nos ponen a reflexionar entre los aspectos positivos y negativos de una misma acción y como no se puede restringir a un área en específico la repercusión de una solución planteada (Lovelock, 2007).

En el mismo sentido Lovelock nos dice que “la Tierra se comporta como un sistema único y autorregulado, formado por componentes físicos, químicos, biológicos y humanos” y que cada elemento se relaciona e interactúa para autorregular las condiciones óptimas de funcionamiento, aunque también indica que “los problemas son verdaderamente globales” ya que estamos “atrapados en un círculo vicioso de repercusión instantánea” debido a que nuestra forma de actuar pensando en el hombre como forma superior de la naturaleza impacta en el equilibrio de la Tierra como sistema vivo (Lovelock, 1997:16).

Por lo que al cambiar la forma de ver nuestro entorno, de un mero proveedor de elementos que satisfacen nuestras necesidades a un sistema en el que estamos inmersos, en el que nuestros hábitos y acciones pueden representar un impacto que se refleje no sólo a nivel local, sino también a otras comunidades. Debemos por lo tanto considerar el alcance de la propuesta que se plantea en este trabajo.

Por lo que al plantear el aprovechamiento de un elemento se debe considerar no solo la recuperación de este, sino también el proceso que conlleva su adecuación

para ser utilizado y por qué integrarlo a cierto proceso en lugar de otro ya establecido, atendiendo a los hábitos de producción y consumo de las personas.

La Dra. Miriam Alfie en su obra *Democracia y desafío medioambiental* (2005) menciona que vivimos en una época que se caracteriza por una comunicación con intercambios culturales que están plagados de diferencias, las cuales se suman para dar lugar a nuevas concepciones e imaginarios (Alfie, 2005:20), y que podemos comparar con la red planetaria que está en continua autorregulación e interconexión.

Es en esta interconexión no sólo de concepciones sino de intercambio de productos y servicios, en la que se debe profundizar para conocer los elementos con los que disponemos y que podemos utilizar para darle una nueva configuración a los procesos establecidos, en los que se puede incidir y modificar para obtener un beneficio no sólo económico sino también ambiental y social.

Atendiendo a que el conocimiento ya generado se establezca en un nuevo contexto y así formar nuevo conocimiento, gracias a la facilidad de la economía en red que vivimos, para diseñar desde dentro con la ayuda de investigaciones similares (Thackara, 2013:14).

Pero debemos tener en consideración que la visión antropocéntrica está alineada a la forma tradicional de pensar que es así, porque se siguen leyes naturales que no se pueden cambiar. Aunque dicha percepción se ha ido modificando y Capra denomina al nuevo paradigma “visión holística del mundo”, porque lo ve como un todo integrado más que como una serie organizada de partes, que no se pueden estudiar de forma aislada (Capra, 1998:28).

Debido a lo anterior, para introducir cambios en un proceso de producción se debe conocer primero el proceso y estudiar de forma integral desde la obtención de materias primas hasta la disposición de los objetos una vez que han cumplido su fin. Con esto se pueden introducir mejoras que repercutan no sólo de manera aislada en una etapa sino que impacten a lo largo de su cadena productiva, no sólo

a nivel económico, sino también a nivel ambiental sin descuidar la calidad del producto o servicio (Vezzoli y Manzini, 2015)

Capra alude al uso de la perspectiva sistémica para el estudio de los problemas, en el cual las únicas soluciones viables son aquellas que resulten sostenibles y utiliza el concepto de sostenibilidad debido a que se ha convertido en un elemento clave y crucial en el movimiento ecológico. “Lester Brown, del *Worldwatch Institute*, ha dado una simple, clara y hermosa definición: «Una sociedad sostenible es aquella capaz de satisfacer sus necesidades sin disminuir las oportunidades de generaciones futuras.»” (Capra, 1998:26).

Un cambio paulatino en el uso indiscriminado de recursos es adoptar medidas como la del reciclaje. Acción que tiene ventajas tanto en el ahorro de materias primas vírgenes como en el ahorro de energía derivado de su extracción y su transformación (Pascual, 2016). Pero para ello se debe cambiar la forma en que se ve a los recursos naturales. Pasar de una visión utilitarista de la naturaleza a una visión sistémica en la que se está en constante cambio (Gudynas, 2010)

Peter Checkland en su obra habla de que los sistemas sociales revelan tendencias en vez de leyes, y por lo tanto se deben considerar que los sistemas vivos tienen intenciones (Checkland, 1993:89). Por otro lado hace énfasis en el concepto de organización y de cómo esta debe considerarse en la arquitectura de la complejidad como organización jerárquica con niveles que son fundamentales cuando se habla de sistemas vivos y se quieran estudiar desde una visión holística (Checkland 1993: 98).

Por lo tanto una propuesta no debe quedarse en el papel, sino que se debe considerar el aplicarlo o por lo menos generar investigaciones futuras que aprovechen los datos como punto de partida y acortar pasos para su implementación.

Aunado a que una visión holística ayuda a comprender la integración de los elementos en su entorno natural y social, mientras prevé la repercusión de sus elementos de conformación, en el ciclo que comprende la extracción de materias primas, el proceso de fabricación, el uso de productos y la reinserción de sus

elementos una vez que cumplido su propósito, establece como estas etapas afectan al entorno natural así como a la comunidad en que se utilizan (Capra, 1998:28).

3.2 Los discursos ambientales y la responsabilidad personal

Los movimientos que tratan de cambiar el paradigma científico están compuestos por una variedad de discursos, la Dra. Miriam Alfie menciona que estos discursos son una forma compartida de comunicar un código colectivo de interacción y cada discurso es una cosmovisión que está envuelta en el lenguaje. En cada uno de estos discursos se interpelan sujetos que desentrañan la información, la unen y le dan significado en un conjunto coherente de historias (Alfie, 2005:170).

Maturana y Varela en su texto *El árbol del conocimiento* (2003) menciona que lo que diferencia profundamente a unas cosmologías de otras, aun cuando sus conclusiones sean similares, es el criterio de validación de las explicaciones, afirmaciones y asertos que se hacen en ellas. Por lo tanto, al desarrollarse diferentes discursos que hacen frente a problemas concretos, se observa que la mayoría se complementan y siguen una misma dirección con pequeñas discrepancias; sin embargo, hay algunos en los que tales discrepancias hacen que compiten de manera directa (Maturana y Varela, 2003: XXVII).

La postura de clasificación que adopta la Dra. Miriam Alfie se apoya en el trabajo de John Dryzek (1997), en el que analiza los discursos incorporando dos variables que son: la posición política y las soluciones frente al deterioro. Por lo tanto, además de las posiciones políticas de los discursos ya sean reformistas o radicales, se profundiza en las soluciones que estos plantean frente al deterioro ecológico (Alfie, 2005:171).

La combinación da lugar a cuatro grupos: a) supervivientes, b) los que favorecen la resolución de problemas ambientales. c) los que abogan por el desarrollo sustentable y d) los que se inclina por el radicalismo verde, todos ellos con el referente común de la toma de conciencia, ya sea en menor o mayor intensidad (Alfie, 2005:172).

Meadows en su texto *Más allá de los límites del crecimiento* (1994) que pertenece a una corriente de corte neomaltusiano¹⁵, menciona que cuando algo crece se hace cuantitativamente más grande y que cuando se desarrolla, se hace cualitativamente mejor o al menos diferente. Por lo que el crecimiento y el desarrollo siguen leyes distintas, y establece como ejemplo: el desarrollo de nuestro planeta que a lo largo del tiempo no ha presentado incrementos físicos, y al existir límites en su conformación material y no presentar crecimiento, una forma de cambiar, es volverse mejor; porque no existe límites que impidan su desarrollo (Meadows, 1994:28).

El discurso de Meadows y los supervivientes nace a partir de la conformación de “el club de Roma” en 1970. Estos proponen soluciones contempladas dentro del sistema industrial pero la presentación del informe sobre los límites del crecimiento causó gran impacto y realizó un cambio en la forma de pensar, al establecer una relación entre el crecimiento lineal de los recursos y el crecimiento exponencial de la población (Meadows, 1994:9).

Los supervivientes actúan dentro de un sistema establecido siendo radicales y realistas, pero en el caso de una posición contraria también con una visión radical se deben considerar dos discursos. Los cuales están estrechamente ligados a la ecología profunda y que son: la ecología social y la ecología feminista o ecofeminismo. El terreno común de estas escuelas filosóficas de ecología es que el sistema dominante en el que el patriarcado, el imperialismo, el capitalismo y el racismo son aspectos explotadores y antiecológicos, por lo que proponen la construcción de un cambio social (Alfie, 2005:190).

Los diferentes discursos abogan por un cambio, aunque no en la misma intensidad, sí en el mismo sentido. Un sentido que adopta una visión ecológica y que

¹⁵ Robert Malthus publicó en 1798 su "*Ensayo sobre el Principio de la Población*" en el que habló de “la tendencia constante de todo ser vivo a aumentar su población reproduciéndose más allá de lo que permiten los recursos disponibles para su subsistencia”. La preocupación neomalthusiana con relación a “la cantidad de recursos que pueden utilizarse para mantener a una población que crece en forma superexponencial” (Sejenovich, 2012:36).

entiende que las acciones repercuten no sólo a nivel local, sino que se extienden más de allá de las fronteras establecidas por el hombre.

También se debe entender que la base fundamental del vivir social, como lo menciona Maturana y Varela, es la confianza básica de los unos en los otros, al aceptar que la responsabilidad personal se puede adoptar cuando se abandona la práctica tan acostumbrada de echarle la culpa a los demás, y que estas acciones son la guía que nos ayudará a lograr un desarrollo social armónico y estable con el ambiente. Un desarrollo que respete la vida de todos los que habitamos la Tierra (Maturana y Varela, 2003: IX).

Pero este cambio personal e individual como parte de la continua creación humana conlleva a que se tome partida de los discursos para así realizar acciones, porque “no es posible conocer sino lo que se hace”, en “procesos autopoiéticos y sociales, con los cuales se genera continuamente la auto descripción de lo que hacemos” (Maturana y Varela, 2003: XXVII).

Para actuar desde una posición realista, por estar inmersos en un sistema de producción y reformista porque se trata de integrar elementos disponibles.

3.3 El Desarrollo sustentable y los recursos naturales

Para abordar una problemática ambiental se debe considerar la relación con el entorno, Miriam Alfie en su obra *Discursos ambientales: viaje a la diversidad* (2002) enfatiza que “el crecimiento exponencial de la población, aunado a la depredación de los recursos no renovables, el uso irracional de fuentes energéticas y el deterioro de los recursos renovables marcan el inicio de una nueva era en donde la propia existencia humana se ve amenazada” (Alfie, 2002:82).

En el mismo sentido del uso de los recursos, la Mtra. Brenda García (2009) en su conferencia titulada *Modelos de sustentabilidad y su relación en la disciplina del diseño* menciona que “el modelo de sustentabilidad de Margolín parte de la premisa de que el mundo, compuesto de recursos finitos, es un sistema en equilibrio

en donde el perjuicio a cualquiera de sus elementos, o el agotamiento de éstos, resulta en severos daños y en el inevitable colapso del sistema” (García, 2009:68).

Por lo anterior se toma como punto de partida el discurso del desarrollo sustentable como el constructo imaginario de ese ideal, que nos llevará a esa utopía que quizás no alcancemos, pero que se ve en el horizonte y que nos encaminará hacia acciones que mitiguen o amplíen ese punto sin retorno. Y aunque es un camino difícil que trata de redefinir el panorama al observar el deterioro ambiental como una oportunidad y la posibilidad de construir un cambio social, al tratar de unificar los asuntos ambientales con la economía (Alfie, 2005:182).

El Informe Brundtland de 1987 hace un llamado a la acción, en donde el ritmo acelerado y cambiante en que vivimos hace que las medidas que adoptan los países no sólo se encaminen a “disminuir la primera generación de daño al medio ambiente, sino también comenzar a ponerse al día con las consecuencias crecientes de los daños futuros. Si no lo hacen, sus activos de capital fundamentales y sus recursos del medio ambiente continuarán declinando” (Informe Brundtland, 1987:369)

Miriam Alfie indica que “la sustentabilidad no ha sido demostrada, que es un constructo teórico que está en proceso de cambio e implica diferentes concepciones y enfoques”, dichas concepciones y enfoques requieren esfuerzos colectivos coordinados que planteen metas concretas, que no confía en acciones y tareas aisladas, individuales y espontáneas (Alfie, 2005:183). Pero para llegar a buen puerto necesitamos un faro y que más que la sustentabilidad como aquella guía, en la que las acciones responsables e individuales, pueden repercutir de manera positiva en nuestros hábitos y estos en el ambiente.

Brenda García en su texto *Ecodiseño nueva herramienta para la sustentabilidad* (2008), realiza una confrontación de posturas relacionadas hacia la sustentabilidad y el consumo y nos dice que para encaminarnos hacia la sustentabilidad se debe cuestionar “si los niveles actuales de prosperidad material en los países industrializados y ricos son compatibles con la sustentabilidad global” o, si por el contrario en una economía mundial que está gobernada por el estímulo

de la demanda de productos y servicios se puede continuar y mantener el ritmo de consumo durante mucho tiempo (García, 2008:24).

Claude Fussler y Peter James en su texto *Eco-innovación integrando el medio ambiente en la empresa del futuro* (1999), nos presenta la opción de un futuro más alentador en el que puede haber crecimiento al obtener beneficios que estén basados más en el servicio y en la inteligencia, que en el consumo de masas. Con actuaciones que impliquen una visión a largo plazo, preparada para los cambios y que sea capaz de actuar de forma rápida y flexible, por parte de la colaboración conjunta de gobiernos, empresas y demás organizaciones (Fussler y James, 1999:84).

El entorno humano está alejado de ser perfecto y siempre puede mejorarse, en este sentido André Ricard nos dice que sólo percibimos aquellas carencias para las que estamos capacitados y podemos resolver, debido a que existen muchas carencias y estas no son “detectadas por el método analítico o la evidencia experimental, sino que simplemente, se revelan espontánea e inapelablemente, sin mediar proceso reflexivo alguno” (Ricard, 2010:100).

Para poder introducir cambios a un proceso de producción en el que se integre un residuo, primero se debe profundizar en el conocimiento de los elementos que lo conforman. De esta manera se dispondrá de piezas que interactúan y se interrelacionan para conformar una propuesta que se adecue a los requerimientos de una comunidad y que pueda ser escalado en futuros trabajos.

Por lo que se parte del elemento común entre la cerámica y el vidrio; el sílice, un compuesto de silicio y oxígeno presente tanto en las arcillas que conforman la cerámica como en los objetos fabricados con vidrio.

Sumado a lo anterior, la cerámica y el vidrio también comparten el método de extracción de la materia prima, que en la mayoría de los casos es la explotación a cielo abierto. Un proceso que funciona bajo un esquema extractivista, entendiendo este esquema como la “extracción de recursos por medios que implican mayores impactos sobre el ambiente” (Gudynas, 2013:2). En el que “las grandes mineras no

generan encadenamientos productivos en la región donde operan y son socioambientalmente devastadoras por el uso de agua, de energía y por la contratación de mano de obra barata” (Bastidas, 2019:185).

3.3.1 La cerámica y las materias primas para su elaboración

La definición de cerámica de acuerdo con la Real Academia Española es aquel material no metálico que es fabricado por sinterización. Refiriéndose a la sinterización como aquella acción de producir piezas de gran resistencia y dureza calentando, sin llegar a la temperatura de fusión, conglomerados de polvo a los que se ha modelado por presión. Es decir, darle dureza por medio del fuego a la tierra moldeada con agua para producir piezas útiles u ornamentales.

J.C.Anderson señala que la palabra cerámica se deriva del griego *Keramos* que significa material quemado o de alfarería. También menciona que los materiales cerámicos son todos los sólidos no metálicos e inorgánicos, que incluyen: “la cerámica tradicional de barro, la nueva cerámica más pura, y da como ejemplo: a la alúmina y el nitruro de silicio, los vidrios, la cerámica vidriada y el cemento” (Anderson, 1998:349).

A lo largo de la historia la cerámica ha estado presente en las diferentes actividades del ser humano. Hamilton menciona que las muestras de cerámica más antiguas proceden del año 10,000 A.C. en donde florecieron sociedades agrarias estables. En este mismo sentido, Paul Rado nos menciona que “La cerámica marcó el inicio de la civilización, y es por ello tan antigua como el hombre civilizado en sí” (Rado, 1988:269).

Por lo anterior Hamilton indica que la cerámica ha evolucionado de ser rudimentaria en la edad neolítica, donde las piezas no presentaban esmaltes o dibujos; hasta nuestros días en donde la dicotomía (forma y decorado) nos muestra piezas utilitarias que son atractivas a la vista. También menciona que la cerámica se forma con la integración perfecta de los cuatro elementos; de los cuales, los griegos consideraban que estaba constituido el mundo: tierra, agua, viento y fuego (Hamilton, 1989)

Paul Rado también hace un análisis de cómo pudo haber sido el inicio de la cerámica, mencionando que cuando el ser humano se dio cuenta de la plasticidad¹⁶ de las arcillas y moldeó formas parecidas a las ya existentes en la obtuvo recipientes que al dejarlos secar conservaban su forma y cierta resistencia; pero fue sólo cuando utilizó el fuego para hornear la pieza de arcilla que obtuvo una pieza con una alta resistencia a la deformación.

Hamilton menciona que “paralelamente a la evolución de la alfarería se desarrolló la manufactura y decoración de ladrillos y azulejos, empleándose arcilla sin cocer reforzada con paja” aunque en construcciones de grandes edificios se ocupaba piezas cocidas por ser más durables y estéticas (Hamilton, 1989:14)

En nuestro país la fabricación de cerámica es una tradición que se transmite de generación en generación, pero la capacitación de la mano de obra, los conocimientos y técnicas propias del giro, están disponibles para las personas que quieran introducirse en la fabricación de piezas cerámicas.

El instituto Nacional de la Economía Social (INAES) publica guías empresariales. Una de estas guías titulada “Alfarería y Cerámica” señala que la elaboración de los productos de cerámica en nuestro país se remonta a la época prehispánica y no obstante el tiempo transcurrido, aún se conservan la tradición de la producción artesanal que se realiza en talleres familiares en el que la producción y venta de productos de cerámica es su principal fuente de ingresos (INAES, S/F:2)

Por el contrario, en la guía titulada “Vajillas”, se menciona que a pesar de que los objetos tienen el carácter regional, se han adoptado las técnicas y los avances tecnológicos que facilitan su producción en serie y los estándares de calidad que exige la normativa¹⁷ para su comercialización (SE, S/F:2)

¹⁶ Propiedad que permite que un material cambie su forma, sin rotura, al aplicar una fuerza externa, y retener dicha forma cuando la fuerza sea eliminada o reducida en cierto valor (Moore, 1965).

¹⁷ Norma oficial Mexicana NOM-231-SSA1-2016, Artículos de alfarería vidriada, cerámica vidriada, porcelana y artículos de vidrio- límites máximos permisibles de plomo y cadmio solubles- método de ensayo.

El Fondo Nacional de Apoyo para las Empresas de Solidaridad (FONAES) en el documento titulado “Ladrillos” indica que desde la más remota antigüedad se conocen dos tipos de elementos de construcción y que son: 1) El adobe que es una mezcla de pasta de arcilla formada por arena y paja y 2) El tabique cocido a fuego; al segundo se le dio un gran uso a la llegada de los españoles a nuestro país para la construcción de las bóvedas de las iglesias (FONAES, S/F:2)

Juan Oliveras menciona a las arcillas como sinónimo de barro, un producto natural cuyas principales características son la plasticidad, el encogimiento y la dureza al secarse, también hace la diferencia con las pastas indicando que estas tienen una sinterización a determinada temperatura. Por lo que indica que se manejan tres diferentes escalas de temperatura, las cuales son: 1) baja temperatura en la que la pieza se quema a una temperatura menor a 1000°C, 2) media temperatura en un rango entre 1000°C y 1200°C y 3) alta temperatura en la que la pieza se quema a una temperatura mayor a 1200°C (Oliveras, 2017:67).

Avgustinik señala una clasificación de las arcillas empleadas en la construcción mencionando que estas pueden contener arena en un porcentaje del 50 al 85% pero esta varía de acuerdo con la zona geográfica, por lo que la principal característica para saber si una arcilla nos sirve es agregar agua y probar si tiene plasticidad (Avgustinik, 1983: 170).

Las arcillas son un material de origen natural que se ha formado a través de procesos geológicos y que “no tienen una fórmula determinada y todo los tipos existentes son mezclas de minerales con una elevada proporción de minerales arcillosos” (Hamilton, 1989:19). Por lo que se hacen mezclas y se pueden agregar elementos a las arcillas y trabajar diferentes compuestos cerámicos. Un ejemplo de ello es cuando se agrega material orgánico en la arcilla para que en la cocción se calcine y deje espacios que le otorguen porosidad a la pieza, logrando con esto un elemento que puede ser utilizado como filtro.

Las materias primas que se emplean en la fabricación de cerámica son los barros o arcillas y generalmente se emplean tal cual sin purificación química. Las

arcillas son aluminosilicatos, formados por alúmina (Al_2O_3) y sílice (SiO_2), que contienen agua enlazada químicamente. Pero la arcilla comprende “un amplio rango de sustancias naturales de apariencia, textura, composición química y propiedades bastantes distintas”, y las de mayor importancia son las arcillas minerales como la kaolinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Anderson, 1998:354).

La cantidad y tipo de arcillas minerales varían considerablemente, por lo que; en una porcelana inglesa puede presentarse hasta un 90% de kaolinita, mientras que en algunos barro para tabiques sólo puede contener un 30%. “Las características comunes de todos los minerales arcillosos son una estructura laminar y la capacidad de absorber agua en la superficie y entre las placas”, por lo que las arcillas húmedas son maleables y se dice que son hidroplásticas¹⁸ (Anderson, 1998:355).

En términos muy generales la manufactura de piezas o formas cerámicas comprende las etapas siguientes: 1) preparación de lotes y polvos, 2) conformado y decorado y 3) secado y cocción. En la etapa de conformado se puede mencionar el conformado manual, el torneado, el vaciado de barbotina, el vaciado en cinta, la extrusión, el moldeo por inyección y el prensado en seco (Sánchez, 2010:310)

3.3.2 El vidrio y sus características

La definición de vidrio de acuerdo con la Real Academia Española es aquel material duro, frágil y transparente o traslúcido, sin estructura cristalina, obtenido por la fusión de arena silíceo con potasa y moldeable a altas temperaturas, y define a la potasa como el hidróxido potásico sólido.

El vidrio se formó naturalmente de elementos comunes en la corteza terrestre mucho antes de que alguien pensara en experimentar con su composición, intentara

¹⁸ La propiedad de las arcillas de hacerse muy plásticas al agregarles agua y ser trabajadas por medio de la extrusión de una masa espesa a través del orificio de una matriz con la geometría de la sección deseada. Consultado en <http://www.iim.unam.mx/mbizarro/Materiales%20ceramicos.pdf>

darle forma o ponerla a disposición en las distintas formas de las que disponemos en la actualidad (Kirk-othmer, 1978:807).

Los vidrios comerciales de uso más extendido, de acuerdo con Sánchez, “son los vidrios de sosa-cal-silicato, en los que se aprovecha la abundancia de arena silíceo o cuarzo como materia prima” y se forman por medio de la fundición de sílice cristalina (cristobalita). “La temperatura a la que el líquido sobreenfriado se solidifica se conoce como temperatura de transición vítrea” (Sánchez, 2010:328).

El procedimiento primario del vidrio abarca la fusión de las materias primas y la conformación posterior de los diferentes productos de forma continua a partir de la masa fundida. “Dado que el punto de fusión de la sílice pura es superior a 1700°C, se agrega cal y carbonato de sodio (sosa) para reducir el punto de fusión en la producción de vidrios de sosa-cal-sílice. La sílice es la materia prima base representando aproximadamente un 70% de su conformación, siendo la parte vitrificante. Por otro lado, el sodio le da cierta facilidad de fusión y representa un 15%, siendo la parte fundente y, por último, el calcio la provee de estabilidad química en una proporción aproximada del 10%. Sin el calcio el vidrio sería soluble hasta en agua y prácticamente no serviría para nada. (Sánchez, 2010:329)

La manufactura de vidrio en México se remonta al estado de Puebla en 1542 y para 1547 se exportaba vidrio a Guatemala y Perú (Corrales, 2010:99). En 1889, Camilo Ávalos Razo, instaló una fábrica de vidrio en el barrio de la Merced de la ciudad de México. El legado se pasó a Guadalajara debido a la necesidad de envase para la industria tequilera (SEP, 1988). La empresa vidriera Monterrey en 1909 impulsó la orientación de producción industrial al producir de manera automatizada envases para cerveza.

El vidrio es un material que puede reciclarse sin perder sus propiedades físicas y químicas, por lo que debe de separarse por color para obtener productos de calidad óptima para ser reinsertados al mercado y así obtener tanto beneficios económicos como ambientales (Naulaguari, 2018:5).

Una vez que se conocen las características de la materia prima para la fabricación de cerámica y del vidrio, se puede plantear la integración del vidrio al proceso de producción, sólo restaría definir el tipo de vidrio, así como los canales de recuperación y acopio de este recurso. Para adoptar un sistema que integre los residuos de una industria e integrarlos a un proceso local.

3.4 La Ecología industrial y los recursos energéticos

Carlos Vezzoli y Ezio Manzini en su obra *Diseño de productos ambientalmente sustentables* (2015) menciona que “la extensión de la problemática ambiental y la transversalidad de los temas que plantea es tal, que existe la posibilidad concreta de interrelacionar el término ecología con el de diseño en todas sus diversas articulaciones” y para esto debemos considerar los elementos que integran la fabricación de productos y servicios, no sólo en la definición de materiales, formas y funciones, “sino que se extienda al sistema producto; es decir, al conjunto integrado de productos, servicios y comunicación con que las empresas se presentan en el mercado” (Vezzoli y Manzini, 2015:14).

El sistema económico basado en la producción y consumo excesivo de bienes y servicios, ha provocado severos daños al ambiente, de acuerdo con lo que nos dice la Dra. Gemma Cervantes en su artículo *Ecología industrial y desarrollo sustentable* (2009), al indicar que existe una estrecha relación entre el crecimiento poblacional e industrial y el deterioro ambiental.

El enfoque de la ecología industrial surge para darle una nueva orientación al sistema de producción lineal y convertirlo en un sistema cíclico, con la intención de imitar el comportamiento de los ecosistemas naturales. Aprovechando los residuos de una industria e incorporándolos en el proceso productivo de otra para su aprovechamiento. Lo anterior con el objetivo de “garantizar el desarrollo sustentable a cualquier nivel, relacionado e impulsando las interacciones entre los sectores económico, ambiental y social” (Cervantes, 2009:63).

La Dra. Gemma Cervantes también menciona en su texto *Ecología industrial: innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales* (2011), que el sistema industrial se regula por medio de la competencia y resulta difícil que se cambie la mentalidad para comprender que la cooperación en algunos aspectos puede ser más beneficiosa.

Para que se realice una adecuada cooperación entre industrias se deben considerar tres elementos básicos para implementar un sistema de ecología industrial. Dichos elementos son: 1. Mirar a la industria con visión global, de forma sistémica, imitando el funcionamiento de los ecosistemas naturales. 2. Crear una red dinámica de entidades o empresas relacionadas con su entorno. 3. Enfocarse hacia el desarrollo sostenible e incluir aspectos sociales, económicos y ambientales. (Cervantes, 2011:61).

La ecología industrial impulsa la creación de relaciones, en forma de redes, conectando a las industrias entre sí, y a estas con la sociedad y el medio natural. Cervantes considera que este es un “aspecto muy importante de la ecología industrial y la clave para que ésta contribuya al desarrollo sostenible de los sistemas industriales” (Cervantes, 2011:60).

También persigue un balance de forma global y que atienda las diferentes actividades entre los sistemas económicos, sociales y ambientales. Para lo cual, inicia por situar la búsqueda de un “uso sostenible de los recursos naturales, y atiende el ciclo de vida completa de los productos y servicios” (González, 2013:61).

Por lo tanto si se recupera un material considerado un residuo, se estaría cambiando de un sistema lineal a uno circular en el que se ahorra energía debido a que el coste de extracción se estaría omitiendo, además de que en el caso específico de esta investigación se espera que el agregar vidrio a la cerámica, esta requiera un menor uso de combustibles fósiles. Ya que el desarrollo económico y social de México se sustenta en el uso de recursos energéticos y disminuir su uso beneficia tanto en el aspecto ambiental como en el económico.

Beneficio que se puede reflejar en la disminución de materia prima y lo que conlleva su extracción, así como en la disminución en el uso de recursos energéticos, ya que la generación de electricidad y el uso de hidrocarburos son insumos de gran importancia para el funcionamiento diario de empresas, fábricas y hogares y que para solventar la demanda se tienen que quemar combustibles fósiles.

En la página de la secretaria de energía se indica que en 2012¹⁹ la demanda de gas natural se incrementó. La falta de infraestructura para transportar este recurso desde Estados Unidos provocó que en 2012 se emitieran alertas críticas para racionalizar su consumo, provocando pérdidas económicas e incremento del costo de generación de electricidad. También se indica, que el sector petrolero mexicano enfrenta retos y que algunos son urgentes que se deben atender, uno de ellos es la caída de la producción y la necesidad de mayor inversión. Porque a pesar de invertir más en exploración y extracción tanto de petróleo como de gas natural, la obtención ha disminuido. Debido a que la producción de petróleo pasó de 3.4 millones de barriles diarios en 2004, a 2.5 millones de barriles diarios en 2013²⁰.

Otro ejemplo es el caso del gas natural, ya que nuestro país pasó de ser prácticamente autosuficiente en 1997, pues sólo se importaba el 3% del consumo nacional, a importar cerca del 30% en 2013. México cuenta con grandes reservas de estos recursos energéticos, pero no posee la capacidad técnica, financiera y de ejecución para extraer los hidrocarburos de una forma competitiva y aunque la reforma energética fue planeada para disminuir los costos de los energéticos, aún estamos en el camino para alcanzar las metas que planteó

¹⁹ De enero de 2012 a junio de 2013 se presentaron 35 restricciones en el suministro de gas natural —denominadas localmente “alertas críticas”— que afectaron al sector manufacturero. Recuperado en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44366/1/S1801208_es.pdf

²⁰ Datos obtenidos del resumen ejecutivo de la reforma energética aprobada por el Congreso de la Unión y publicada en el Diario Oficial de la Federación en diciembre de 2013 en la que se establecen las bases para la modernización y transformación del sector energético nacional. Recuperado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164370/Resumen_de_la_explicacion_de_la_Reforma_Energetica11_1_.pdf

Por lo que un menor uso de recursos energéticos en la producción de cerámica es un aspecto que beneficia tanto en el sentido económico como en el ambiental. Debido a que, al utilizar vidrio recuperado y disminuir el uso de combustible se agrega valor a los objetos cerámicos.

3.5 El Ecodiseño y el desarrollo de productos

Brenda García menciona que el modelo de sustentabilidad es el camino idóneo para propiciar un desarrollo prospero en el planeta. Sin embargo las vías para lograrlo parecen inalcanzables en una sociedad industrial donde el eje principal es la producción y el consumo. Para tomar este camino, es indispensable y necesario adoptar e incrementar un sentido de conciencia, que reconsidere los efectos del hacer para impulsar una práctica del diseño que giren en torno a valores éticos: "...la responsabilidad máxima del diseñador es contribuir a la producción de un mundo habitable" (García, 2008:43).

Félix Sanz en su obra *Ecodiseño un nuevo concepto en el desarrollo de productos* (2014), nos dice que el ecodiseño es aquel que "integra los aspectos ambientales en la concepción y desarrollo de un producto, con el objetivo de mejorar su calidad y, a la vez, reducir los costes de fabricación", por medio de metodologías basadas en el estudio de todas y cada una de las etapas de la vida del producto, comprendidas desde la obtención de materias primas hasta su eliminación y reciclado. Por lo que si se diseña bajo criterios ecológicos el impacto al ambiente es menor, debido a que no se tienen que corregir, evitar o reparar daños ocasionados a lo largo de la vida de un producto (Sanz, 2014:9).

El objetivo del ecodiseño como lo menciona Brenda García, ubicándolo en un punto medio entre la sustentabilidad y el *Green desing*, es el de fortalecer la conciencia ambiental mientras se busca el equilibrio con la industria, pero reforzando los valores de ética y de responsabilidad (García Parra, 2008:28), para permitirle operar bajo el sistema industrial actual y al mismo tiempo mostrar un mayor respeto por el ambiente al reconocer y darle la misma importancia a los sistemas interrelacionados con él (García Parra, 2008:44).

Víctor Papanek en su obra *Diseñar para el mundo real, Ecología humana y cambio social*, menciona que a medida que se van alterando las piezas que componen al sistema, “el sistema mismo terminará alterándose” (Papanek, 1984:248), por lo que se puede incidir para disminuir el impacto por medio del diseño de propuestas que aprovechen recursos considerados residuos que ya cumplieron el fin para el que fueron concebidos.

3.6 La Ecoeficiencia y el uso de recursos

El ecodiseño utiliza diversas estrategias entre las cuales se encuentra la ecoeficiencia. Francisco González Madariaga en su texto *Ecoeficiencia propuesta de diseño para el mejoramiento ambiental* (2013), señala que la ecoeficiencia se enfoca en “utilizar menos recursos y menos energía durante el proceso productivo, reducir desechos y atenuar el impacto ambiental”. La promoción de la innovación y la disminución de costos de producción son los beneficios que se observan con esta filosofía de gestión de recursos (González Madariaga, 2013:34).

El concepto de ecoeficiencia fue extendido por el *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) en 1991, y relaciona tanto el aspecto económico como el ambiental, pero sin dejar de lado la funcionalidad del producto o servicio (Bastante, 2005:1148)

Sin embargo, “la minimización del consumo de recursos durante el uso no necesariamente se encuentra entre los objetivos de las empresas y por lo tanto no se refleja en el diseño de productos de alta eficiencia” (Vezzoli y Manzini, 2015:97).

“Para lograr la ecoeficiencia, se debe contemplar por completo el ciclo de vida de los productos y los siguientes objetivos: 1. Reducir la intensidad de uso de materias primas. 2. Reducir el uso de energía. 3. Reducir el daño al ambiente y a la salud humana. 4. Fomentar la reutilización y el reciclaje. 5. Proporcionar una verdadera calidad de vida. 6. Aumentar la intensidad de servicios de los productos” (García Parra, 2008:54).

“El producto debe ser diseñado teniendo en cuenta todas las fases” y considerar desde la extracción y la producción de materiales, hasta la consideración del retiro y la disposición del producto. Fases que deben ser tratadas como una sola unidad. “Esto implica un cambio del diseño de los productos al diseño total del sistema-producto, entendiendo como el conjunto de eventos que lo determinan y lo acompañan durante su vida útil” (Vezzoli y Manzini, 2015:86).

Brenda García señala que la ecoeficiencia no debe descuidar las cualidades técnicas y económicas de los productos, que si bien los objetivos deben estar orientados al “mejor aprovechamiento de los recursos y la reducción de la contaminación a lo largo el ciclo de vida de los productos”, la calidad y el análisis del propósito de los productos para ofrecer aquellos que sean necesarios y conformar los aspectos esenciales para implementar esta estrategia (García Parra, 2008:55).

Se debe adoptar “una idea de producto sistémico en el cual las entradas de materiales y energía, así como el impacto de todas las emisiones y residuos, se reduzcan a un mínimo, en términos de calidad y cantidad, es decir, teniendo en cuenta la peligrosidad de sus efectos” (Vezzoli y Manzini, 2015:87). Lo anterior porque los impactos no sólo se quedan a nivel local sino que escalan a otros niveles como lo menciona Lovelock al hablar de la obra de Rachel Carson *Primavera silenciosa* (Lovelock, 2007:163).

3.7 Producción más limpia

En el mismo sentido que la ecoeficiencia, la producción más limpia es una estrategia preventiva en el que el objetivo es hacer empresas más eficientes y menos contaminantes. El concepto surge del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1989 (Varela, 2003:3)

Cervantes menciona que la producción más limpia está definida como la implementación continua de una estrategia ambiental, que es preventiva y que tiene como objetivo aumentar la eficiencia de productos, procesos y servicios para disminuir los riesgos para el hombre y el medio ambiente (Cervantes, 2009:68).

De acuerdo con González, aún persiste la tendencia de encarar los problemas ambientales en la etapa final del proceso, aunque esto implica un gasto que encarece el producto, sin embargo si se adopta una posición proactiva en lugar de una reactiva, se puede poner atención al punto donde se genera el o los contaminantes, para así evitar emisión y por consiguiente el gasto que implicaría su manejo y control. Aunado a lo anterior las empresas que se integran a una correcta gestión medioambiental consiguen posiciones ventajosas sobre sus competidores (González Madariaga, 2013:55) no sólo en el aspecto económico sino también en el social al “analizar situaciones complejas e idear maneras de hacerlas socialmente productivas” (Margolín, 2017:105).

La producción más limpia se aplica a los procesos de producción al eliminar las materias primas tóxicas y reducir, tanto la cantidad como la toxicidad de las emisiones y los residuos. Así como la reducción de impactos negativos en la conformación del producto en todas sus etapas, desde la extracción de materiales hasta su disposición final. La producción más limpia de acuerdo con González se incluiría en la ecología industrial como un elemento más de promoción de la producción y el consumo sostenible (González Madariaga, 2013:61).

La ecoeficiencia y la producción más limpia son conceptos que comparten aspectos comunes y están estrechamente interrelacionados, ambos como lo menciona Fussler, están “diseñados para desafiar la estructura mental”. Para no conformarse con las soluciones vigentes, para promover la curiosidad y generar nuevas propuestas por medio de la integración del pensamiento holístico para analizar los sistemas complejos que integran los medios de producción y así constituir la ética a nuestro quehacer diario tanto como consumidores como productores de bienes y servicios (Fussler y James, 1999:369).

Para este trabajo se recurre a la ecoeficiencia por enfocarse en el diseño del proceso sin descuidar la calidad del producto, pero se considera la producción más limpia por el aspecto de mejora continua.

4.- Marco metodológico

Una estrategia de investigación debe mostrar un panorama y una visión general de los medios que se van a utilizar para realizar la investigación²¹. Roberto Hernández Sampieri indica que la estrategia debe adaptarse a las necesidades, al contexto, a las circunstancias y a los recursos, siempre y cuando esté orientada al planteamiento del problema (Hernández Sampieri, 2014:534).

Por otro lado, Fernando Martín Juez menciona que diseñar es más eficiente que buscar al azar, por lo que para lograr una disminución de tiempo y esfuerzo se hace uso de un método experimental, en el que los pasos a seguir deben estar bien definidos, evitando así la acumulación de objetos medianamente útiles al problema definido (Martín Juez, 2002).

En consecuencia se enfocaran los esfuerzos en aspectos que sean adecuados para llegar a una propuesta óptima que cumpla con los aspectos requeridos en el tiempo establecido. El uso de una metodología proyectual²², como lo menciona Bruno Munari, nos ayuda a conseguir buenos resultados con menores esfuerzos. Además de que no es absoluta ni definitiva. Se pueden hacer modificaciones al “cambiar el orden de alguna operación si se encuentran valores objetivos que mejoren el proceso” (EASD, 2013:1)

Para realizar el trabajo de investigación en la fase de experimentación en el taller y laboratorio se utilizaron las etapas del proceso proyectual de Gui Bonsiepe,

²¹ Se retoma esta forma de ver la estrategia porque pone al investigador en un punto en el que el panorama, si bien no es incierto porque ya lleva camino recorrido, es preventivo porque debe prepararse con herramientas óptimas que le permitirán llegar a buen destino, recuperado en <https://www.scribbr.es/como-empezar-tfg/como-crear-una-estrategia-de-investigacion/>

²² La universidad de la Empresa la define como “el conjunto de procedimientos utilizados durante un proceso de trabajo para resolver un problema de diseño. Requiere habilidades y conocimientos específicos” en la que se reconocen “distintas etapas en las cuales se emplean herramientas que permiten un desarrollo lógico y creativo en la toma de decisiones” recuperado de <https://ude.edu.uy/>

que comprenden las etapas de: Estructuración del problema, diseño y realización (Carmen Vilchis, 1998:119).

La etapa de estructuración del problema se estableció porque se quiere comparar una serie de muestras con porcentaje de vidrio, para establecer diferencias de acuerdo a condiciones de conformación y establecer las características que los materiales deben tener para elaborar las muestras de acuerdo a la literatura consultada.

La etapa de diseño se estableció para estructurar las pruebas y los formatos de registro que se van a realizar de acuerdo a los artículos consultados para establecer el estado del arte en el que se toman de referencias los métodos de ensayo y las normas que utilizan. La etapa de realización se estableció para realizar las pruebas en el lugar previamente solicitado y efectuar el registro de datos para su posterior comparación y análisis.

Diagrama 1 Etapas para la fase de experimentación

1. Estructuración del problema	Realizar comparativo de compuestos cerámicos con vidrio recuperado	Establecer las características de los materiales para realizar las pruebas
2. Diseño	Con referencia en NMX-C-170-0NNCCE Con referencia en NMX-C-077-1997-0NNCCE Con referencia en Mattison (2004) Con referencia en Anderson (1998) Con referencia en Rado (1990) Con referencia en NMX-C-037-0NNCCE-2005 Con referencia en ASTM C67	Prueba de sedimentación Prueba de granulometría Prueba de plasticidad Prueba de encogimiento Prueba de resistencia a la temperatura Prueba porosidad Prueba de esfuerzo cortante
3. Realización	Prueba de sedimentación Prueba de granulometría Prueba de plasticidad Prueba de encogimiento Prueba de resistencia a la temperatura Prueba porosidad Prueba de esfuerzo cortante	Se realizó en el LITEC Se realizó en el LITEC Se realizó en el Taller de vidrio Se realizó en el Taller de cerámica Se realizó en el Taller de cerámica Se realizó en el Taller de vidrio Se realizó en el LITEC

Elaboración propia con base en Carmen Vilchis (1998)

Para establecer las características de los materiales se realizaron visitas a centros de acopio y visitas a casas de materiales. También se analizó el método de recuperación de los residuos sólidos en la CDMX para establecer la forma en que se obtendría el vidrio y presentarlo en la propuesta.

Diagrama 2 Acciones para reutilizar el vidrio



Retomado de https://trayectocuatroeninformatica.files.wordpress.com/2017/09/ciclo_reciclaje_vidrio1-1.png?w=660

Con la revisión de los métodos de recolección y acopio, se estableció que se utilizaría el vidrio de las botellas y frascos, debido a la cantidad que se recolecta de la vía pública²³, y las características para su procesamiento dependieron del equipo con el que se contaba en el taller.

El material estandarizado que se comercializa para la fabricación de cerámica tiene un tamaño de partícula menor a 0.075 mm. Pero la arcilla comprende “un amplio rango de sustancias naturales de apariencia, textura, composición química y propiedades bastantes distintas”, y las de mayor importancia son las arcillas minerales como la kaolinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) (Anderson, 1998:354).

²³ En una semana de trayectos de la escuela a la casa se pudieron recolectar 15 botellas pero nada de vidrio de ventana, aunque se tendría que establecer un mapeo de residuos de vidrio en la vía pública, ya que aunque es susceptible de ser reutilizado, se encuentra en un nivel R1 de acuerdo a criterios de recuperación de RSU para reciclaje, en el que es “difícil de recuperar por el bajo precio de venta, dificultad de almacenamiento o acondicionamiento especializado” (Greenpeace 2019).

Por lo anterior se buscó establecer un compuesto que integrara las características de un material plástico y uno arcilloso para tener un punto de partida y en futuras investigaciones variar las características de acuerdo a bancos específicos de materiales en los que el material sea más estructurante o más plástico.

Una primera opción fue visitar casas de materiales y fábricas de tabiques en las que se utilizaba arcilla y tierra. La opción para el material plástico se tomó de una arcilla comercial nacional con alta plasticidad que se tiene que trabajar agregando un material estructurante. El material estructurante se seleccionó del material utilizado para fabricar bloques de tierra comprimida, debido a que era un material que se utiliza para pruebas en el Laboratorio de Investigación Tecnológica de la UAM Xochimilco (LITEC).

En la presente investigación el diseño estuvo orientados a comparar muestras de materiales con el fin de elegir el que mejor cumple con aspectos que pueden hacer más eficiente el proceso de fabricación de cerámica. Por medio de conocer y caracterizar nuevos materiales al integrar un elemento considerado un residuo, y así establecer las condiciones de operación en los que se logre un mejor desempeño del proceso, reducir el tiempo requerido en las fases de fabricación y apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos (Gutiérrez Pulido, 2008:4)

Se utilizó el método de diseños centrales compuestos porque se pudo establecer un rango de incrementos, y a partir de estos incrementos establecer un centro con propiedades óptimas, que sirva para elaborar la propuesta del proceso que reutiliza vidrio recuperado; es decir, establecer varios porcentajes de vidrio agregado, en los que se observará si las propiedades aumentan o disminuyen, y poder determinar el punto en el que las características son apropiadas para trabajar el compuesto cerámico (Gutiérrez Pulido, 2008:417).

Además del uso del diseño de Box-Behnken, que se utilizó para los valores que no estén en su valor extremo, y así establecerse dos temperaturas para trabajar un rango de trabajo (Gutiérrez Pulido, 2008:416)

El periodo en que se realizó el trabajo de experimentación fue establecido a partir de la semana 3 del trimestre 19-P hasta la segunda semana del trimestre 20-I. Lo anterior correspondió a parte del trimestre III, con mayor énfasis de trabajo en el IV trimestre y considerando las dos primeras semanas del V trimestre para posibles contingencias. Lo anterior fue establecido por el sentido de flexibilidad que menciona Martín Juez, al indicar que se deben considerar las reglas de transición, las regularidades probabilísticas, el azar y el ruido. Aspectos que pudieran afectar de manera negativa al desarrollo del trabajo de experimentación (Martín Juez, 2002:153).

Una vez establecido el material con el que se iba a trabajar se utilizó de referencia el trabajo de Lucero Silva titulado “Reutilización de Residuos de Vidrio como Adición Mineral de Cementantes Hidráulicos”. Las etapas que estableció para su trabajo fueron: 1. Recolección y preparación de residuos, 2. Procesamiento de los residuos de vidrio, 3. Tamizado y selección, 4. Diseño y elaboración de morteros y 5. Pruebas de resistencia mecánica.

Con estas etapas se pudieron establecer los pasos para abordar la realización de la fase de experimentación, atendiendo a lo que menciona Bauman al indicar que “la creación del orden es por su propia naturaleza una actividad selectiva”, (Bauman, 2013:45), pero considerando que no es proceso sólido, en el que las formas más flexibles pueden ser adecuadas y perfeccionadas, en el que “las formas en proceso de disolución, y por lo tanto no permanentes, vienen otras que no son menos susceptibles a la disolución y por ende igualmente desprovistas de permanencia” (Bauman, 2013:17).

Las etapas planteadas, tienen subetapas que conllevan actividades que se detallan en la parte de los anexos, en los reportes que se realizaron para dejar constancia del trabajo realizado en las áreas en que se solicitó el uso de espacios para trabajar. La tabla 2 describe de manera general las actividades planeadas que se llevaron a cabo para la fase de experimentación.

Tabla 2 Etapas consideradas para la fase de experimentación

1	Recolección y organización de materiales	1.1	Recolectar botellas en la calle
		1.2	Recolectar tierra de ladrillera
		1.3	Comprar arcilla
2	Procesamiento y preparación de los materiales	2.1	Limpiar y retirar etiquetas de botellas
		2.2	Moler, tamizar y clasificar por tamaño de partícula el vidrio
		2.3	Tamizar y clasificar por tamaño de partícula de la tierra
3	Preparación de las muestras	3.1	Etiquetar contenedores para compuesto
		3.2	Pesar porcentajes de materiales
		3.3	Mezclar en el mortero el compuesto
		3.4	Hidratar y amasar los compuestos
4	Elaboración de probetas	4.1	Preparar molde
		4.2	Llenar molde
		4.3	Marcar molde
		4.4	Desmolde de probeta
		4.5	Medir y marcar
		4.6	Dejar secar y volver a medir
5	Cocción de probetas	5.1	Estiba de probetas
		5.2	Preparación del horno
		5.3	Monitoreo de cocción
		5.4	Descarga del horno
		5.5	Medición después de cocción
6	Prueba de probetas	6.1	Prueba de plasticidad
		6.2	Prueba de encogimiento
		6.3	Prueba de resistencia a la temperatura
		6.4	Prueba de porosidad
		6.5	Prueba de esfuerzo cortante

Elaboración propia con base en Lucero Silva (2017)

La etapa de recolección, organización y acopio de materiales se realizó en el taller de vidrio, ya que se solicitó un espacio de trabajo para realizar la etapa de experimentación para esta investigación. Una vez recolectado el vidrio, la tierra y la arcilla se procedieron a preparar los materiales para que se realizaran las pruebas.

Se utilizaron modalidades de manipulación con una variable independiente (Hernández Sampieri, 2017:132), Para este experimento la variable fue el porcentaje de vidrio molido que pasó por una malla #100 (tamaño de partícula <0.149 mm), y que se agregó en proporciones crecientes de 5% para la elaboración de las probetas, para así obtener 80 muestras. Las pruebas tuvieron dos grados de manipulación correspondientes a dos diferentes temperaturas de quema. La primera temperatura fue de 1140°C y la segunda de 855°C.

La decisión para el uso de tamaño de partícula corresponde a que en el proceso de molido y tamizado se requiere tiempo y energía, que aunque se realizó de forma manual para esta investigación para trasladarlo a una escala mayor se debe considerar el equipo necesario, además de que el equipo con malla más fina disponible en el taller corresponde a la malla #100.

Tabla 03 Comparativa normas tamices ISO / ASTM

ISO (mm)	ASTM (#)	ISO (mm)	ASTM (#)	Se coloca como base el reservorio y se van colocando encima de este en número descendente los distintos tamices.
9.5 mm	3/8"	0.60 mm	# 30	
4.75 mm	# 4	0.30 mm	# 50	
2.36 mm	# 8	0.15 mm	# 100	
1.18 mm	# 16	Reservorio		

Elaboración propia. Basada en <https://www.tamices.es/>

Una prueba de sedimentación del material del LITEC nos proporcionó información del porcentaje, correspondiendo 30% de arcilla y 55% de arena, por lo que para trabajar con este material se debe agregar arcilla, y con esto aumentar la plasticidad para trabajarla en el taller. Pero no se descarta su uso debido a que es una tierra con alto contenido en hierro y es una muestra que representa un espectro amplio de la tierra que se puede utilizar. Una vez que se obtuvo la tierra, la arcilla y el vidrio molido se conformaron los compuestos para las pruebas.

Se determinó a partir de estas pruebas, que se utilizaría la tierra como estructurante pero se agregaría una arcilla comercial que le conferirá plasticidad al

compuesto. Dicho compuesto será una muestra homogénea que será representativa con relación a los resultados de las pruebas a las que se les agregó vidrio molido.

Se realizó una prueba de granulometría para determinar el porcentaje útil de material con un tamaño de grano menor a 0.15 mm. Este tamaño se estableció debido al equipo disponible y dado que a mayor procesamiento se requiere de mayor tiempo de trabajo y el uso de más recursos energéticos. Por lo que también se manejó el mismo tamaño de partícula una vez molido y tamizado el vidrio recuperado.

Tabla 04 Prueba de granulometría

# Tamiz	Peso en gr.	Factor 0.5	Porcentaje	Acumulado
3/8"	0	0.5	0.00%	0.00%
# 4	0	0.5	0.00%	0.00%
# 8	2.1	0.5	1.05%	1.05%
# 16	19	0.5	9.50%	10.55%
# 30	25.5	0.5	12.75%	23.30%
# 50	35.7	0.5	17.85%	41.15%
# 100	36.5	0.5	18.25%	59.40%
Reservorio	80	0.5	40.00%	99.40%
	198.8			

Elaboración propia con datos registrados en la prueba

La prueba se realizó de acuerdo con la Norma Mexicana NMX C170-ONNCCE-1997, en el que se establecen los métodos para la reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo hasta obtener el tamaño apropiado para la prueba. La Norma Mexicana NMX-C-077-1997-ONNCCE señala el método para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños a través de las cribas.



Foto1. Selección de muestras de casa de materiales Vázquez. Fuente propia



Foto 2. Procedimiento de selección de muestra. Fuente propia



Foto 3. Prueba de granulometría para determinar el tipo de agregado. Fuente propia

Se conformó el compuesto con una composición de 50% de tierra y 50% de arcilla para la prueba testigo, y a partir de esta muestra se elaboraron compuestos en los que se agregó vidrio molido en porcentajes de 5%, sin sobrepasar el 50% de su peso. En la tabla 05 se realiza la distribución y la asignación de nombre para cada una de las muestras.

Tabla 05 Porcentaje de material para cada muestra

Muestra	Porcentaje de vidrio	Porcentaje de tierra	Porcentaje de arcilla
M0	0%	50.00%	50.00%
M1	5%	47.50%	47.50%
M2	10%	45.00%	45.00%
M3	15%	42.50%	42.50%
M4	20%	40.00%	40.00%
M5	25%	37.50%	37.50%
M6	30%	35.00%	35.00%
M7	35%	32.50%	32.50%
M8	40%	30.00%	30.00%
M9	45%	27.50%	27.50%
M10	50%	25.00%	25.00%

Elaboración propia con datos registrados en la prueba

El número de probetas que se fabricaron para realizar las diferentes pruebas fueron 8 de cada muestra, debido a que se utilizaron para realizar dos cocciones a diferentes temperaturas, en la tabla 06 se detalla la prueba para cada probeta

Tabla 06 Probetas requeridas para cada prueba

Plasticidad y encogimiento	Resistencia a la temperatura	Porosidad	Esfuerzo cortante
Todas las probetas (44 probetas fabricadas a 855°C y 44 fabricadas a 1140°C)	Una probeta de cada muestra (11 probetas fabricadas a 855°C y 11 probetas fabricadas a 1140°C)	Todas las probetas (44 probetas fabricadas a 855°C y 44 fabricadas a 1140°C)	Tres probetas debido a que una se utilizó para la prueba de resistencia a la temperatura (33 probetas fabricadas a 855°C y 33 fabricadas a 1140°C)

Elaboración propia

Para la preparación de las muestras se realizó la mezcla e hidratación de materiales con los porcentajes establecidos para cada muestra.



Foto 4. Separación de vidrio después de moler y tamizar.
Fuente propia.



Foto 5. Clasificación de materiales. Fuente propia



Foto 6. Preparación de equipo para realizar las muestras.
Fuente propia.

Una vez conformadas las muestras, se inició con la prueba de plasticidad para establecer parámetros con relación al aumento de vidrio en el compuesto cerámico y registrar las variaciones de cada muestra.

Para realizar las pruebas de encogimiento, resistencia a la temperatura, porosidad y esfuerzo cortante se elaboraron probetas por compresión, proceso de fabricación aplicando presión en un molde que corresponde a la forma de fabricación de piezas utilitarias en las comunidades alfareras. Una vez fabricadas las probetas se marcaron y dejaron secar para su posterior quema en horno eléctrico y las subsecuentes pruebas de laboratorio.



Foto 7. Preparación de molde de yeso para elaborar probeta.
Fuente propia.



Foto 8. Fabricación de probetas por compresión en molde.
Fuente propia.



Foto 9. Marcado de probetas para su posterior registro. Fuente propia.

Una semana después de la elaboración de las probetas, se registró una primera medición en la que se tomó nota del primer encogimiento. Debido a que el encogimiento se presenta en una primera etapa como preparación para la cocción,

una segunda después de la primera cocción, así como una tercera si se requiere una segunda cocción (Mattison,2004)



Foto 10. Se dejaron secar por una semana en el taller de vidrio. Fuente propia.



Foto 11. Se tomó un primer registro del encogimiento. Fuente propia.



Foto 12. Se registraron y se prepararon para la quema. Fuente propia.

Las cocciones en el horno se realizaron de acuerdo a la programación de trabajo que tenía el técnico académico del taller de cerámica el Mtro. Alejandro Almazán y se realizaron dos quemas, la primera a 855°C y la segunda a 1140°C,



Foto 13. Preparación del horno para la quema de probetas. Fuente propia.



Foto 14. Estiba de las probetas en el horno eléctrico. Fuente propia.



Foto 15. Descarga del horno después de la quema. Fuente propia.

Después de las quemas se realizó una segunda medición, tanto de las probetas con una cocción a 855°C como de las que se cocinaron a 1140°C. Se registró tanto el encogimiento como la resistencia de cada compuesto a la temperatura. Dicho registro se pudo obtener porque se colocaron las probetas sobre dos postes y al llegar al punto de fase líquida el material se deforma, presentando una curva que se mide con respecto a la horizontal, por lo que el dato obtenido nos proporciona una referencia de la cantidad de vidrio adecuada para tener una resistencia óptima en la fabricación de piezas cerámicas y si a mayor cantidad de vidrio en el compuesto cerámico se puede disminuir la temperatura para fabricar cerámica.



Foto 16. Se colocan sobre dos postes en el acomodo del horno. Fuente propia.



Foto 17. Después de la quema se comparan las muestras. Fuente propia.



Foto 18. Se registra cada una de las probetas con caída. Fuente propia.

La prueba de porosidad se realiza para establecer la cantidad de agua que absorben las muestras con relación a la cantidad de vidrio agregado y si hay un aumento o disminución en el peso, que represente una mejora que se pueda aplicar para la fabricación de piezas cerámicas.



Foto 19. Se pesa y se registra cada una de las probetas. Fuente propia.



Foto 20. Se sumergen en agua y se hierven una hora. Fuente propia.



Foto 21. Se retiran del fuego y se vuelven a pesar. Fuente propia.

Para establecer el porcentaje de absorción de agua se requiere pesar y registrar el peso de las probetas en seco antes de la prueba. Para su posterior comparación, en el que el primer peso registrado se contrasta con el segundo registro, que es el peso resultante al dejar hervir las probetas por una hora. El segundo registro debe ser inmediato al retiro de agua hirviendo, considerando que no tengan agua en la superficie, sólo la que absorbieron durante la prueba.

Una vez registrados los datos se procede a calcular el porcentaje para elaborar una gráfica y tener una mejor interpretación de los resultados.

La fórmula para determinar el porcentaje de absorción es la retomada del texto de Azucena González Lozano (2012) y es el siguiente:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Por último, con la prueba de esfuerzo cortante realizada en el LITEC se obtuvieron datos que nos ayudaron a seleccionar la proporción de vidrio que utilizaremos para probarla en una pieza cerámica.



Foto 22. Se prepara la máquina y la separación de los postes.
Fuente propia.

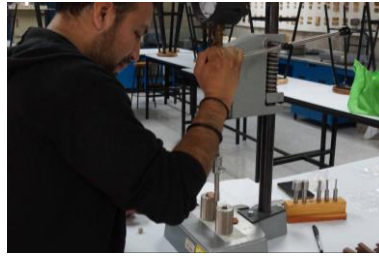


Foto 23. Se colocan las probetas y se les aplica presión. Fuente propia.



Foto 24. Se seleccionó el dado acorde al tamaño de la probeta. Fuente propia.

La etapa de trabajo experimental para la elaboración de pruebas con arcilla y vidrio, así como la quema y las pruebas de plasticidad, resistencia a la temperatura y porosidad de las 80 probetas estuvo guiada por el Mtro. José Leandro Mendoza Cuenca, en el taller de vidrio y de cerámica. Para la etapa de pruebas de resistencia mecánica se solicitó el uso de las máquinas y del área de trabajo del LITEC, cuyo responsable es el Mtro. Juan Ricardo Alarcón Martínez.

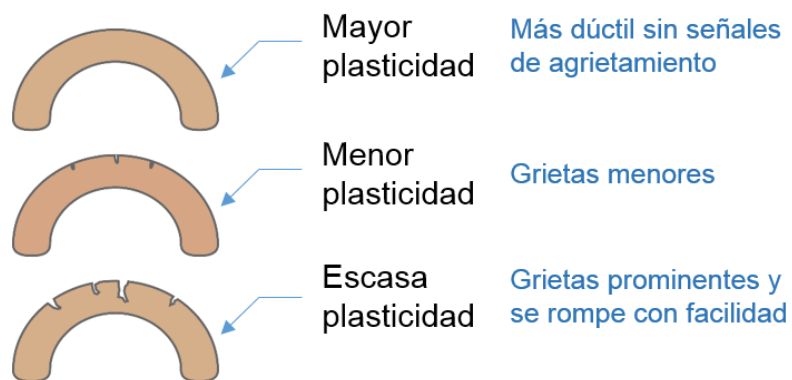
El enfoque de la investigación es predominantemente cuantitativo, con una metodología de investigación experimental que se basó en el Análisis y diseño de experimentos de Humberto Gutiérrez Pulido y retomando a Gui Bonsiepe cuando menciona que la metodología es una guía para resolver problemas en un campo específico, para determinar la secuencia y el contenido específico de las acciones.

4.1. Análisis de resultados

Con los datos registrados en la prueba de plasticidad se elaboró un esquema para clasificar la presencia de esta propiedad para trabajar el compuesto cerámico.

La clasificación se estableció de acuerdo a la prueba de churro en la que se puede apreciar la propiedad que permite que un material cambie su forma, sin rotura, al aplicar una fuerza externa, y que puede retener dicha forma cuando la fuerza es eliminada o reducida en cierto valor, por lo que se considera que una arcilla es más plástica que otra cuando soporta deformaciones mayores sin que aparezcan grietas (Fernández, 1962:26). En el esquema 1 se establece el criterio con el que se elaboró el esquema 2 para establecer la escala de plasticidad en los compuestos cerámicos con diferentes porcentajes de vidrio.

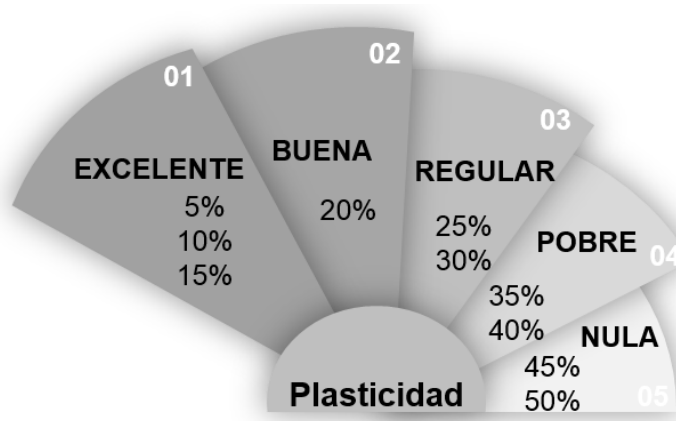
Esquema 1 Criterio para establecer la escala de plasticidad



Elaboración propia con base en Fernández (1962) y Mattison (2006)

Con esta prueba se establecieron cinco rangos, en los cuales los compuestos con 5%,10% y 15% de vidrio molido presentan una excelente plasticidad. Los compuestos con 20% de vidrio presentan una buena plasticidad. Los que tienen 25 y 30% presentan una plasticidad regular. Los porcentajes de 35 y 40% presentan una pobre plasticidad y por último los compuestos con 45% y 50% de vidrio molido presentan una nula plasticidad.

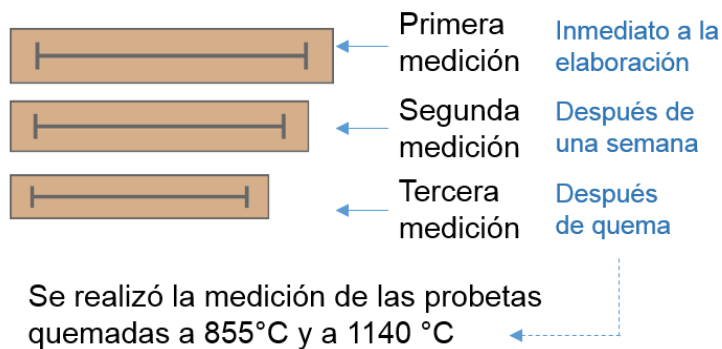
Esquema 2 Escala de plasticidad en que se clasificaron los compuestos



Elaboración propia con base en datos registrados en la prueba de plasticidad

Los datos obtenidos en la prueba de encogimiento corresponden a una relación de las características comunes de todos los minerales arcillosos de estructura laminar, los cuales tienen la capacidad de absorber agua en la superficie y entre las placas. Porque cuando a las arcillas se les agrega agua son maleables, y al perder humedad sufren una contracción o encogimiento (Anderson, 1998:355).

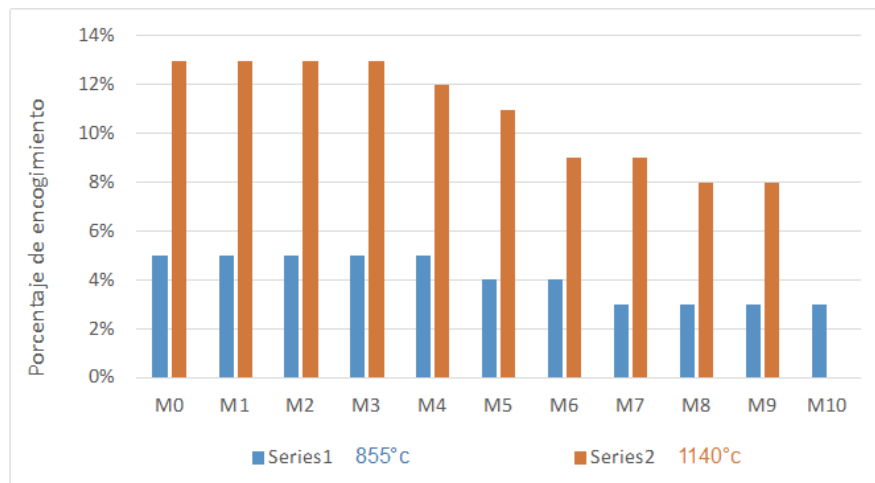
Esquema 3 Etapas de encogimiento en los compuestos cerámicos



Elaboración propia con base en Mattison (2006) y Anderson (1988)

Con los datos obtenidos se elaboró una gráfica en la que se aprecia que a mayor cantidad de vidrio el encogimiento es menor.

Gráfica 1 Encogimiento a la cocción de sinterización

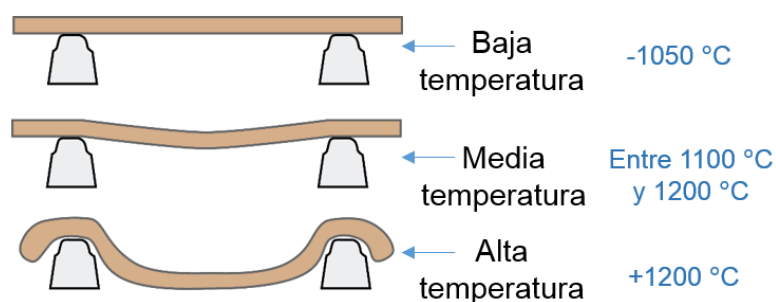


Elaboración propia con base en datos registrados en la prueba de encogimiento

Los datos obtenidos en la prueba de resistencia a la temperatura demuestran que a mayor cantidad de vidrio se promueve una fase líquida, la literatura indica que algunas arcillas se derriten cuando se cuecen a temperaturas elevadas, especialmente las que contienen alto contenido de óxido de hierro, el cual actúa como fundente (Mattison, 2006), y en este caso el vidrio trabaja en conjunto con el óxido de hierro para promover una mayor nivel de fundición.

En el esquema 4 se presenta el comportamiento de las probetas que se cuecen a diferentes temperaturas.

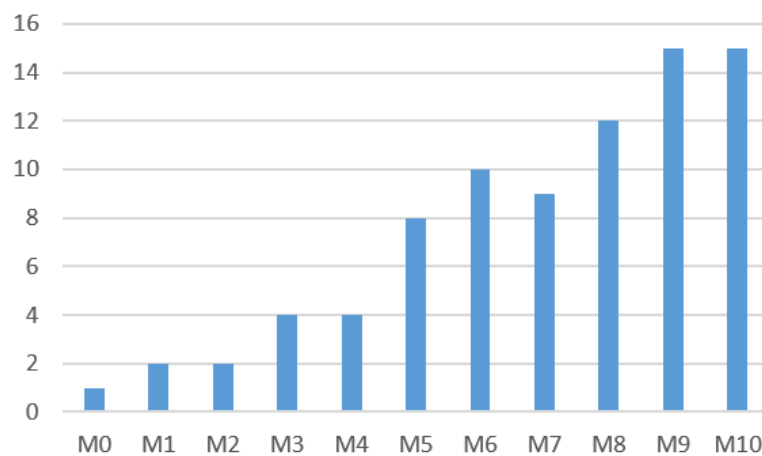
Esquema 4 Resistencia del compuesto a diferentes temperaturas



Elaboración propia con base en Mattison (2006) y Paul Rado (1988)

En la gráfica 02 sólo se presentan los datos de la cocción de 1140°C, porque a una temperatura de 855°C no se presentó una fase líquida como lo menciona Paul Rado al indicar que los cambios químicos que presentan las arcillas al cocinarse aproximadamente a 500°C es la formación de meta-caolín, cerca de los 925°C presenta fase tipo espinela, entre 1050°C y 1100°C pasa a fase mullita y a partir de los 1200°C la fase de la mullita evoluciona con parámetros de red firmes (RADO, 1990:13).

Gráfica 2 Deformación en centímetros con relación a la cantidad de vidrio en el compuesto cerámico



Elaboración propia con base en datos registrados en la prueba de resistencia a la temperatura

En la prueba de porosidad se obtuvieron datos representativos que se pudieron cruzar, porque los objetos cerámicos con menor porosidad tienen ventaja y son fabricados a una temperatura mayor a 1200°C, por lo que si obtenemos datos que demuestren que se pueden obtener piezas menos porosas a una temperatura menor, se puede obtener una eficiencia de recursos. Además de que la absorción de agua agrega peso a los objetos cerámicos, y dicha absorción puede afectar un adecuado funcionamiento.

En la tabla 7 se registró la absorción de agua en las probetas que se sometieron a una cocción de 1140°C, los datos fueron más significativos y se puede observar que en las probetas con mayor cantidad de vidrio se observa un incremento en el peso aún en un primer registro en seco.

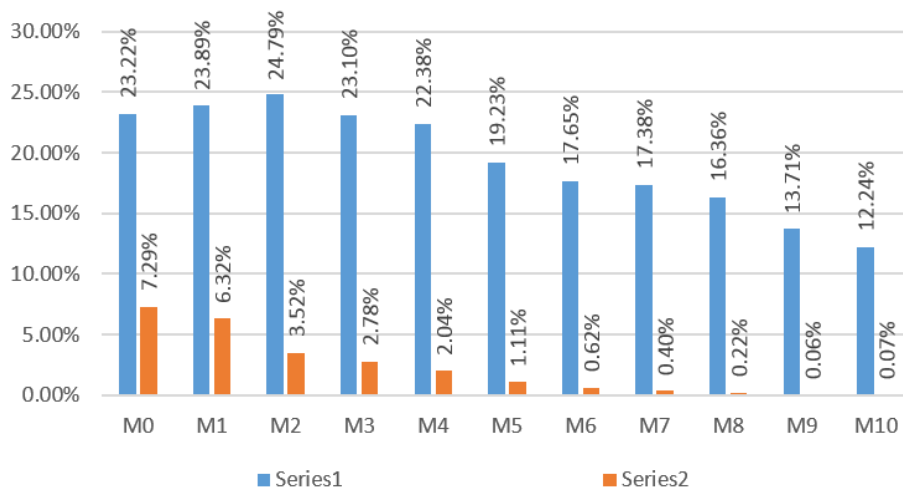
Tabla 07 Absorción de agua en probetas cocinadas a 1140°C

Muestra	% Vidrio	Peso 1	Peso 2	% Absorción
M0	Sin vidrio	16.05	17.22	7.29%
M1	5%	16.21	17.23	6.32%
M2	10%	16.90	17.50	3.52%
M3	15%	17.29	17.77	2.78%
M4	20%	17.31	17.66	2.04%
M5	25%	17.83	18.03	1.11%
M6	30%	17.62	17.73	0.62%
M7	35%	20.20	20.28	0.40%
M8	40%	18.31	18.35	0.22%
M9	45%	19.85	19.86	0.06%
M10	50%	22.09	22.10	0.07%

Elaboración propia con base en datos registrados en la prueba de porosidad

Con los datos obtenidos podemos observar que a mayor cantidad de vidrio la porosidad disminuye, pero el peso aumenta, y este no es proporcional, por lo que se tiene un objeto más pesado que no compensa la absorción de agua.

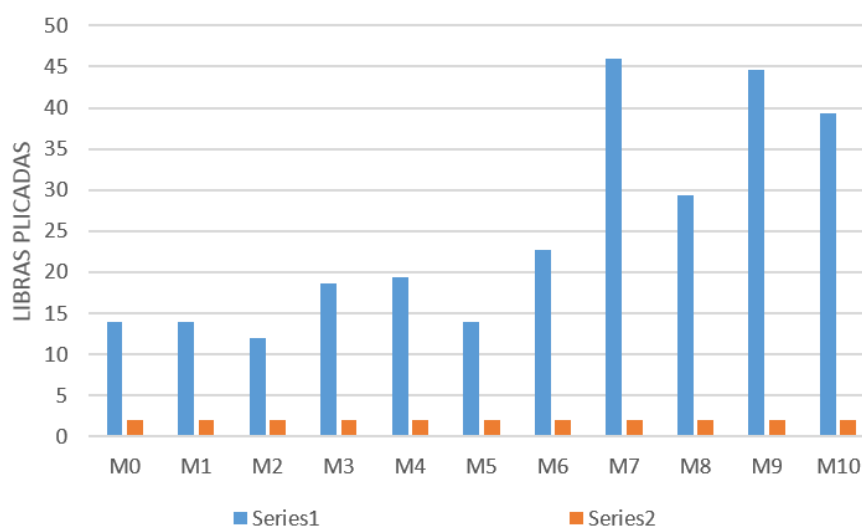
Gráfica 3 Porcentaje de encogimiento registrado en las muestras



Elaboración propia con base en datos registrados en la prueba de porosidad

La prueba de dureza presento carencias, debido a que los datos de las probetas elaboradas a 855°C no se pudieron registrar, debido a que el equipo de laboratorio no contaba con el rango de registro necesario, por lo que sólo se registraron los datos de las probetas elaboradas a una temperatura de 1140°C.

Gráfica 4 Cantidad de libras aplicadas hasta el punto de ruptura



Elaboración propia con base en datos registrados en la prueba de porosidad

Los datos registrados de la prueba en las probetas elaboradas a una temperatura de 1140C demuestran que a mayor cantidad de vidrio la resistencia aumenta.

4.2 Evaluación de datos para integrarse a criterios de ecoeficiencia

Una vez obtenido los datos se establece el rango de acción para el porcentaje de vidrio a utilizar en la propuesta del proceso, las posibles aplicaciones de diseño e investigaciones futuras.

De acuerdo con la prueba de plasticidad, esta se reduce a partir del 25% por lo que se decidió contemplar hasta un 20% de vidrio en la arcilla. La prueba de encogimiento demostró que hasta con un 25% la diferencia es de uno por ciento pero al agregar 30% la diferencia se incrementa en 2% por lo que ya no se consideró dentro de la proporción adecuada. Al igual que con la prueba de resistencia a la temperatura en el que el valor más amplio se observa en la prueba de 25% al duplicarse el valor obtenido en la prueba con 20% de vidrio. La porosidad disminuye a partir del 15% y conserva un rango aceptado para productos cerámicos y aunque la resistencia al esfuerzo cortante se presenta como una propiedad notable a partir

del 35% se decidió que los valores en el 15% y el 20% son aceptables con relación a las otras pruebas.

La tabla 07 muestra los aspectos que se consideraron para establecer el porcentaje a utilizar.

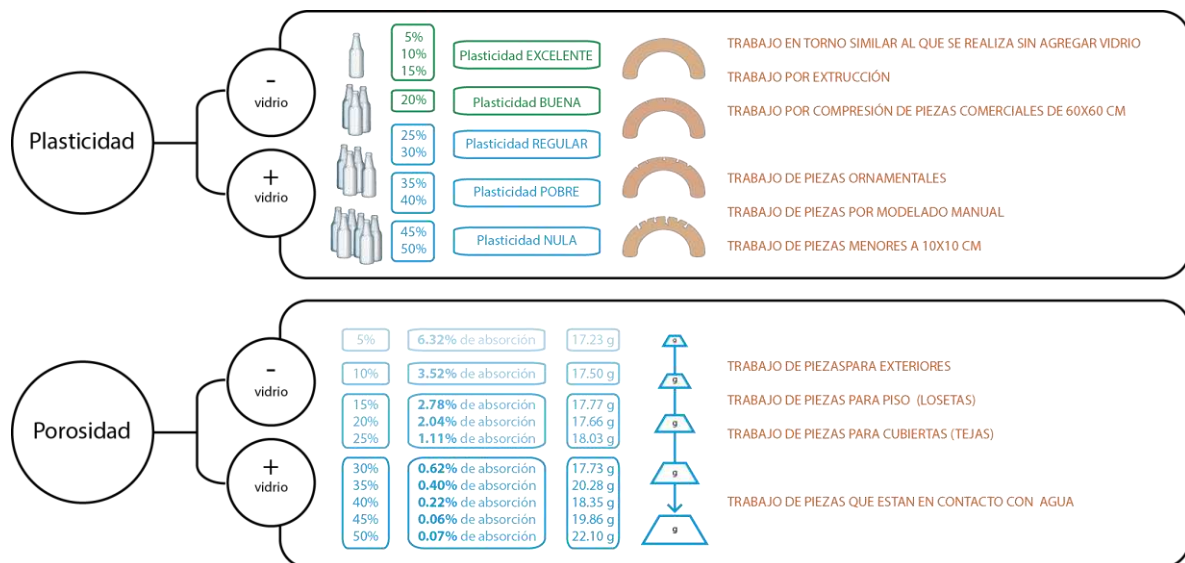
Tabla 08 Selección de rango para la proporción de vidrio recuperado

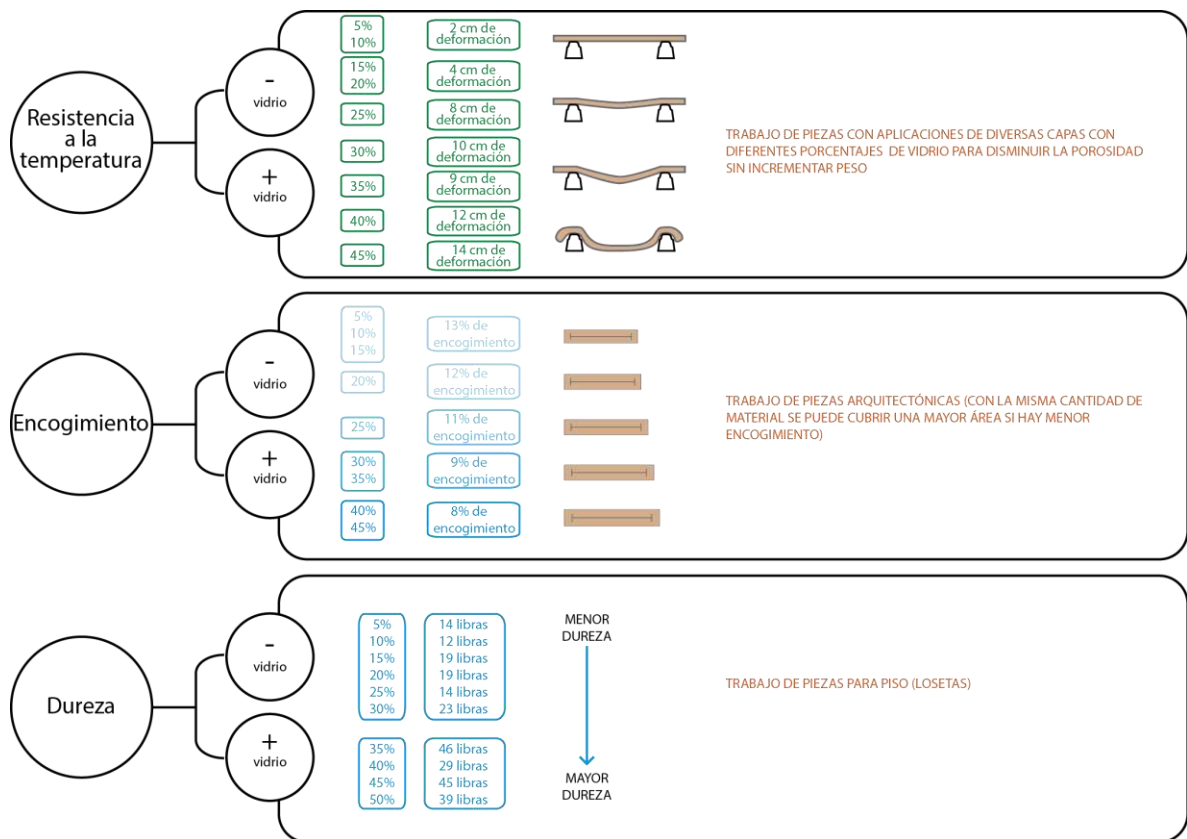
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Plasticidad	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Encogimiento	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Resistencia a la temperatura	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Porosidad	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Resistencia al esfuerzo cortante	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓

Elaboración propia con base en los datos de las pruebas realizadas

Se elaboró también un esquema en el que se plantea las aplicaciones que pueden tener los diferentes compuestos cerámicos de acuerdo a la cantidad de vidrio, para que se puedan retomar en trabajos posteriores, tanto en el aspecto de diseño como para una futura variación de componentes.

Esquema 5 Posibles aplicaciones de diseño





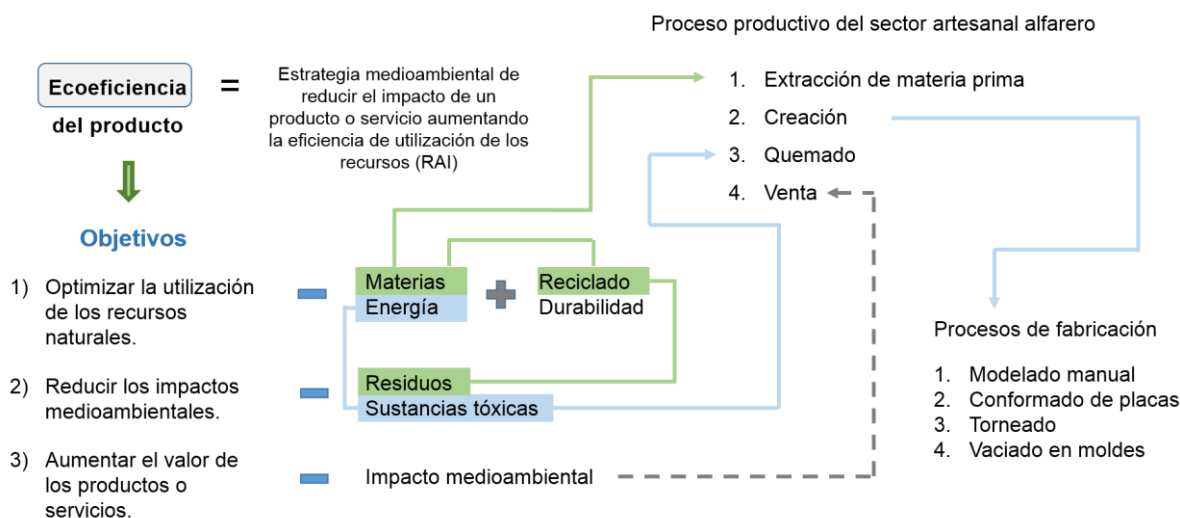
Elaboración propia con base en datos registrados en las pruebas

Las propuestas de diseño no sólo se pueden aplicar a objetos, ya que también se pueden hacer propuestas en relación al equipo para procesar el vidrio, a pequeña escala de manera en que se realizó en este trabajo de investigación, o a mayor escala si se quiere implementar en un taller familiar en el que la demanda de material justificaría un equipo de gran capacidad.

Una vez que se tiene la visión general de este trabajo en el uso de vidrio recuperado en la cerámica y el aspecto particular del uso del porcentaje, se procede a elaborar el diagrama 03 en el que se relacionan los objetivos de la ecoeficiencia con el proceso productivo de la cerámica.

Una inserción que relaciona por qué utilizar vidrio en un proceso en el que se integran los aspectos ambientales, sociales y económicos en el proceso productivo de las comunidades alfareras.

Diagrama 03 Aspectos de ecoeficiencia en el proceso productivo



Elaboración propia con base en TYL (2011) Y AYALA (2014)

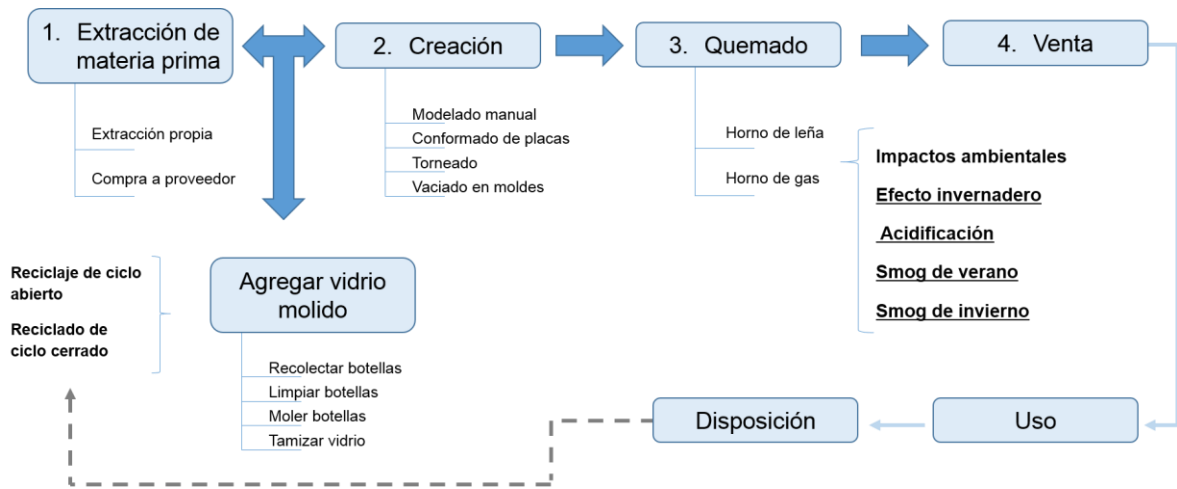
De acuerdo al diagrama 03 si se utiliza vidrio recuperado en la producción de cerámica, se optimiza la utilización de recursos naturales y con los datos obtenidos en las pruebas es factible sustituir en un rango del 10 al 20% materia prima por un residuo que se puede reciclar y que disminuye el consumo de energía y el volumen en vertederos.

Para determinar el consumo energético se puede realizar un comparativo en el tiempo de quema requerido en el horno electrónico para cerámica marca CRESS, modelo E-23²⁴, con capacidad de 3.3 pies cúbicos, voltaje de 240 V y 36 amperes. El cual tiene un consumo de 8.6 kilowatts por hora y con el cual se realizaron las pruebas en el taller de cerámica.

La integración de la propuesta se ejemplifica en el diagrama 03, en el que se introduce el proceso de reciclaje de botellas de vidrio y en la Matriz MET se hace el comparativo con el enfoque de la ecoeficiencia.

²⁴ Se consultó en la página del proveedor de hornos marca CRESS las características de consumo y requerimientos de alimentación <https://products.cressmfg.com/item/ceramic-kilns/digital-electronic-3/pn-1128-2>

Diagrama 03 Integración del proceso de reciclaje al método de producción



Elaboración propia con base en MANZINI Y VEZZOLI (2015), DEL VAL (2014) Y AYALA (2014)

Matriz MET del proceso de fabricación de cerámica con vidrio recuperado

Fases del proceso	Materiales (entradas)	Energía (entradas)	Emisiones (salidas)
Obtención y consumo de recursos	Arcilla (entre un 15 y un 20% menos) Vidrio entre el 15 y 20% Agua (misma cantidad)	Recolección de vidrio Limpieza del vidrio Molido y tamizado del vidrio	Agua (limpieza del vidrio)
Producción	Proceso de quema (cocción de cerámica)	Horno eléctrico (Consumo de 8.6 kilowatts por hora)	Efecto Invernadero por quema de combustibles fósiles (CO ₂) Smog de verano por centrales eléctricas (C _x H _y)

Elaboración propia con base en www.cprac.org/

Se utiliza la matriz MET porque se quiere proporcionar una visión global rápida, que aunque se complementa con datos duros, es el paso previo al uso de métodos más complejos. Proporciona una visión amplia de que se puede ahorrar hasta un 20% de materia prima virgen, pero hay un traslado en el impacto con relación al esfuerzo que conlleva el recuperar y procesar el vidrio.

Impacto que se traslada al alfarero, y por el cual se tiene que invertir tiempo más que energía, y es en este punto que pueden surgir propuestas de equipo para el procesamiento del vidrio.

La Matriz MET en este trabajo presenta elementos que se quedan en la fase de producción porque la incidencia radica en la implementación de cambios en el proceso, más que en la distribución. Aunque si se integra el desarrollo de propuestas para equipo, se puede plantear el reaprovechamiento de las piezas cerámicas una vez que se estropean y dejan de ser útiles.

5. Conclusiones

En este trabajo de investigación se cumplió el objetivo general, al proponer un proceso que integra vidrio recuperado en la etapa de preparación de materias primas. Ya que se identificó que agregar vidrio recuperado, molido y tamizado con un tamaño de partícula menor a 0.15 mm en la preparación de un compuesto cerámico, en una proporción entre el 15% y 20% disminuye la porosidad en relación a un compuesto al que no se le ha agregado vidrio.

Con los resultados de las pruebas se pudieron determinar las características que se modifican cuando se aumenta la cantidad de vidrio; siendo estas una menor porosidad pero con un incremento en el peso. Una mayor dureza pero con una disminución de plasticidad al hidratar el compuesto cerámico. Una disminución en el punto de sinterización pero con una menor resistencia a la temperatura. Cada aspecto positivo conlleva un aspecto que disminuye ciertas propiedades, por lo que se deben considerar para establecer aplicaciones viables de diseño.

La disminución en el consumo energético se puede contrastar con los datos de la prueba de resistencia a la temperatura, ya que con la misma temperatura, pero con una carga mayor de vidrio, se obtiene una mayor fase líquida la cual promueve la fundición y disminuye el punto de sinterización.

Las ventajas económicas de utilizar vidrio recuperado es que en lugar de ocupar 1 kg de arcilla, se puede ocupar sólo 0.8 kg y 0.2 kg de vidrio recuperado que no implica un costo monetario ya que este puede ser recolectado o aportado por los integrantes de la propia comunidad. Incluyendo el aspecto social al establecer relaciones de ayuda comunitaria.

El aspecto ambiental se aborda cuando se aprovecha un recurso considerado un residuo urbano, disminuyendo el consumo energético debido a que el requerimiento de energía para fabricar cerámica es menor al que se requiere para fundir vidrio²⁵, y aunque los productos difieren en características se puede aprovechar que la cerámica tiene una aplicación más variada de objetos, ya sean utilitarios, ornamentales, de construcción o eléctricos.

Lo que es susceptible de ser medido en algún momento específico se puede comparar, esta acción se realiza para saber si hay desviaciones. Porque dentro de las desviaciones pueden existir problemas o adecuaciones que se pueden aprovechar para hacer más eficientes los procesos a los que estamos tan habituados, y por lo tanto pasamos por alto aquellas mejoras que pueden ser implementadas. Porque “no basta saber que algo es enorme, sino que necesitamos también saber cómo comparar este “enorme” con otro “enorme”; es decir, con nuestro enorme consumo de energía. Para hacer esta comparación necesitamos cifras y no adjetivos” (Thackara, 20013:44). Es en este sentido que las pruebas de laboratorio nos proporcionaron datos para realizar un análisis y establecer criterios para plantear la propuesta que integra el uso de vidrio recuperado.

En un ciclo de producción lineal en el que los residuos son desechados, se pierde la oportunidad de obtener beneficios económicos, sociales y ambientales. Beneficios económicos porque se reduce el costo de adquisición de materias primas. Sociales porque aunque representan un reto las acciones ligadas a la reducción, el reuso y el reciclaje de residuos, la población acata las políticas implementadas y esto hace que se adopten nuevos hábitos. Por último en el aspecto ambiental se obtiene una disminución en el uso de recursos energéticos, ya que se requiere menos energía para transformar un material procesado y el volumen del material aprovechado es el mismo volumen que no va a llegar a los vertederos.

²⁵ El vidrio se obtiene por fusión a unos 1.500 °C, y aunque al utilizar vidrio reciclado junto con materias primas vírgenes, se consigue un ahorro de aproximadamente 1% de energía por cada 4% de material reciclado, recuperado en <https://www.crisamol.com/el-reciclaje-del-vidrio/>

Adoptar un enfoque cíclico que toma en cuenta tanto los elementos internos de la producción como los externos, implica conocer el funcionamiento de la fabricación de piezas cerámicas en una comunidad como organismo integral, en el que las diferentes etapas contribuyen a la producción de bienes y servicios. Etapas que repercuten no sólo a nivel local, por ejemplo; al generar gases contaminantes al cocer la cerámica o al extraer arcilla y modificar tanto el paisaje como el ecosistema.

Pero si contamos con un panorama ampliado del proceso de fabricación, se logra hacer modificaciones en el sentido de mejorar la producción y reintroducir elementos considerados desechos. Lo anterior a un primer nivel, pero si se establecen relaciones con otras organizaciones, ya sean del mismo giro o con diferente actividad se pueden establecer redes de comunicación que amplían las opciones que benefician a más entidades y el impacto en el ambiente se reduce porque se adopta un enfoque ecológico, que contempla una visión holística de acciones interconectadas que repercuten a nivel global.

El ser humano se las ha ingeniado para inventar infinidad de herramientas, pero en ocasiones no las usa de la mejor manera, debido a la complejidad en la que estamos inmersos y al trabajo que representa predecir el alcance de las consecuencias que impactan en el sistema ecológico (Harari Yuval, 2019:25), aunque las simulaciones parecen aproximarse a resultados confiables, se requieren los datos que alimenten dichas simulaciones (Resnick, 2001), por lo tanto se requieren trabajos que aporten datos que se puedan utilizar para conformar escenarios y alcances que no sean percibidos en primera instancia.

Con el estudio realizado se proponen acciones que integran el uso de residuos en un proceso de fabricación de cerámica que contempla las dimensiones sociales, culturales, económicas y ambientales. Desde un enfoque de ecoeficiencia en el que la reducción de materias primas y recursos energéticos, disminuye el impacto en el ambiente y le agrega valor al producto cerámico.

En este trabajo de investigación se logró el alcance de la interpretación de los datos registrados en las pruebas de laboratorio. El siguiente paso es la aplicación de la propuesta a una comunidad. Porque los retos relacionados con la producción de objetos cerámicos comprenden varios elementos, por lo tanto las estrategias de diseño que tratan de englobar una solución se ubican en un contexto de sistemas complejos. En dichos sistemas el cambio constante implica que con pequeñas modificaciones se puede obtener una transformación a nivel general (Thackara, 2013:77).

Por lo que la aplicación de la propuesta del proceso en el que se utiliza vidrio recuperado en una comunidad “puede contribuir en forma importante a su sustentabilidad, rediseñando el uso de los espacios existentes, en lugar de construir otros nuevos” (Thackara, 2013:82).

Este rediseño implica generar nuevas actividades y esfuerzos conjuntos, debido a que agregar vidrio recuperado implica que se tiene que procesar un material a partir del acopio, clasificación, limpieza, molido y tamizado. Por lo que introducir el uso de vidrio y escalarlo a organizaciones que apoyan a los artesanos podría facilitar el procesamiento del vidrio considerado un desecho.

Estamos acostumbrados a vivir a un ritmo acelerado (Izuzquiza, 2003), el tiempo en la producción representa un costo. La propuesta de agregar vidrio recuperado tiene como objetivo reducir el tiempo de cocción. Pero aunque no se aumenta un costo económico en el proceso; ya que el vidrio recuperado se realiza mediante el acopio del vidrio en la vía pública, se aumenta un rubro que corresponde al tiempo que se requiere para procesar el vidrio.

El trabajo en el laboratorio se debe trasladar a la práctica cotidiana de los alfareros, porque es en la comunidad en donde se detectan los cambios necesarios para su adopción. Los artículos revisados en el apartado de antecedentes no hacen una indicación de aplicación práctica, por lo que en este trabajo se planteó utilizar el proceso en una comunidad, aunque debido a limitaciones de tiempo y contingencias se proponen para trabajo posterior a este trabajo de investigación.

Bibliografía

- ALFIE COHEN, Miriam, 2002, 'Discursos ambientales: viaje a la diversidad' [en línea], *Sociológica*, año 17, número 48, pp. 81-119, enero-abril de 2002, Universidad Autónoma Metropolitana, CDMX, México, consultado: 21 de junio de 2020 <http://www.sociologicamexico.azc.uam.mx/index.php/Sociologica/article/view/433/409>
- ALFIE COHEN, Miriam, 2005, *Democracia y desafío medioambiental en México. Riesgos retos y opciones en la nueva era de la globalización*, Ediciones Pomares y UAM AZC, Edo. De México, México.
- ANDERSON, J.C.; Leaver, K.D.; Rawlings, R.D. y Alexander, J.M., 1998, "*Ciencia de los Materiales*", 2ª ed., Editorial. Limusa S.A. y Grupo Noriega, México, D.F.
- ANDREOLA, F.; Barbieri, L.; Corradi, A.; Ferrari, A.M.; Lancellotti, I. y Neri, P., 2007, 'Recycling of EOL CRT glass into ceramic glaze formulations and its environmental impact by LCA approach', *Revista The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol.12, no.6, pp. 448-454, ISSN 1614-7502, consultado: 21 junio 2020, <https://doi.org/10.1065/lca2006.12.289>
- AYALA APOLINAR, Alejandro, 2014, 'La producción artesanal alfarera en Metepec, Estado de México: una visión sustentable, 2014' [en línea], Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, consultado: 21 de junio de 2020, <http://hdl.handle.net/20.500.11799/49543>
- AVGUSTINIK, A.I., 1983, *Cerámica*, Editorial Reverté, España
- BASTANTE Ceca, M.J., Guilloux, G., López G., R., Vivancos B., J.L., Capuz R., S., 2005, 'Factores influyentes en la medida de la ecoeficiencia de un producto' [en línea], Conferencia en el IX Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, junio 2005, pp 1140-1150, Málaga, España, consultado: 02 de junio de 2020, <https://www.aepro.com/es/repository/func-startdown/271/lang.es-es/>
- BASTIDAS ORREGO, L.M.; Ramírez Valverde, B.; Cesín Vargas, A.; Juárez Sánchez, J.P.; Martínez Carrera, D. y Vaquera Huerta, H., 2018, 'Conflictos socioambientales y minería a cielo abierto en la sierra norte de Puebla, México', *Revista Textual, análisis del medio rural*, Cuarta época, número 72, julio-diciembre 2018, pp. 35-66, ISSN 2395-9177, consultado: 10 de febrero 2019, <https://chapingo-cori.mx/textual/textual/article/view/r.textual.2017.72.003/43>

- BASTIDAS ORREGO, L.M.; Ramírez Valverde, B.; Cesín Vargas, A.; Juárez Sánchez, J.P.; Martínez Carrera, D. y Vaquera Huerta, H., 2019, 'Las comunidades de la Sierra Norte de Puebla, México, frente a los megaproyectos de minería', *Revista de El Colegio de San Luis*, Nueva época, año IX, número 18, enero a abril de 2019, pp. 183-207, ISSN-E: 2007-8846, consultado: 21 junio 2019, <http://revista.colsan.edu.mx/ojs/index.php/COLSAN/article/view/899>
- BAUMAN, Zygmunt, 2001, *La Globalización, Consecuencia humana*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, México.
- BAUMAN, Zygmunt, 2013, *La cultura en el mundo de la modernidad líquida*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, México.
- CAPRA, Fritjof, 1998, *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*, Editorial Anagrama, Barcelona, España.
- CARMONA MOYA, Beatriz, Aguilar-Luzón, M.C., Barrios-Sánchez, D. y Calvo-Salguero, A., 2017, 'Capacidad predictiva de la identidad ambiental y los valores sobre el reciclaje de vidrio: efecto del medioambientalismo y el aprecio por la naturaleza', *PsyEcology*, Vol.8, Núm.2, pp. 149-176, consultado: noviembre 2018, <https://doi.org/10.1080/21711976.2017.1291184>
- CERVANTES TORRE-MARÍN, G.; Sosa Granados, R.; Rodríguez Herrera, G. y Robles Martínez, F., 2009, 'Ecología industrial y desarrollo sustentable, Ingeniería', [en línea], *Revista Académica de la FI-UADY*, vol.13, no.1, pp. 63-70, ISSN: 1665-529X, consultado: 21 de junio de 2020, http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/ecologia_industrial.pdf
- CERVANTES TORRE-MARÍN, G, 2011, 'Ecología Industrial: innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales', *Revista internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*, Sostenibilidad, tecnología y humanismo, Núm.6, diciembre 2011, ISSN1988-0928, pp. 58-78, Universidad de Cataluña, España, consultado septiembre 2019, <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/11914>
- CHECKLAND, Peter, 1993, *Pensamiento de sistemas práctica de sistemas*, Editorial Limusa S.A. y Grupo Noriega editores, México, D.F.
- CORRALES, C.S., 2010, 'La industria del vidrio en el noreste de México', *Trayectorias*, Vol.12, Núm.30, enero-junio 2010, pp. 95-118, Universidad de

nuevo león, Monterrey, México, [en línea], consultado en septiembre 2019, <https://www.redalyc.org/pdf/607/60713488007.pdf>

DELGADO TRUJILLO, J.; Martínez Chica, J.P.; Guzmán Aponte, Á.; Delvasto Arjona, S.; Amigó Borrás, V. y Sánchez Vilches, E., 2015, 'Reemplazo del cuarzo por ceniza de tamo de arroz en la manufactura de gres porcelánico', *Revista EIA Escuela de Ingeniería de Antioquia*, vol.12, no.23, pp. 41-50, ISSN 1794-1237, consultado: 21 junio 2020, <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149240051004.pdf>

DEL VAL, Alfonso y Jiménez, Adolfo, [1991] 1997, *El Libro del Reciclaje. Manual para la recuperación y aprovechamiento de las basuras*, Editorial Integral, Barcelona, España.

DELVASTO ARJONA, S.; Guzmán Aponte, Á.; Torres León, J. A., Cedeño Venté, M. L. y Acosta Guarín, D. F., 2015, 'Viabilidad de uso del polvo de vidrio como fundente en la elaboración de baldosas de gres porcelánico', *Revista Tecnura*, vol.19, no.44, pp.59-70, ISSN 0123-921X, consultado: 21 junio 2020, <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a04>

EASD, 2013, 'Metodologías Proyectivas', Escuela de Arte de Jerez Creatividad y Metodologías de Proyecto, Escuela de Arte y Superior de Diseño, consultado septiembre 2020 <https://aulasinjaula.files.wordpress.com/2013/12/comparativas-metodologc3adas.pdf>

FERNANDEZ NAVARRO, Jose María, 'Plasticidad de las arcillas', [en línea], *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol.1, no.7, septiembre-octubre 1962, consultado: 21 de junio de 2020, <http://boletines.secv.es/upload/20120210113459.196201449.pdf>

FONAES, S/F, *Ladrillos*, Guías empresariales.[en línea], consultado septiembre de 2019, http://www.fonaes.gob.mx/doctos/pdf/guia_empresaial/ladrillos.pdf

FUSSLER, Claude; James, Peter 1999, *Ecoinnovación. Integrando el medio ambiente en la empresa del futuro*, Ediciones Mundiprensa, Madrid, España.

GALÁN, E. y Aparicio P., 2006, 'Materias primas para la industria cerámica', *Universidad de Sevilla, Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía, Vol. 2, "Utilización de Rocas y Minerales Industriales"*, editado por M^a Ángeles García del Cura y Juan C. Cañaveras como colofón al Seminario celebrado en julio de

2005 en la Universidad de Alicante, pp. 31-48, ISSN: 1698-5478, consultado: junio 2019, http://www.ehu.eus/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_Conten.pdf

GARCÍA, Rolando, 2006, *Los sistemas complejos*, Gedisa, Barcelona, España.

GARCÍA PARRA, Brenda 2008, *Ecodiseño. Nueva herramienta para la sustentabilidad*, Editorial Designio, México DF.

GARCÍA PARRA, Brenda, 2009, *MX Design Conference 2009 Impacto Social del Diseño*, Tercer congreso Internacional de Diseño Modelos de sustentabilidad y su relación en la disciplina del diseño, octubre de 2009, Universidad iberoamericana, Ciudad de México, pp. 66-69, consultado: 21 de junio de 2019, <http://www.dis.uia.mx/conference/2009/articulos/LibroMX09.pdf>

GONZÁLEZ LOZANO, Ma. Azucena y Ponce Peña, P., 2012, '*Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla*', Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Vol.1, Núm.2, julio-diciembre 2012, consultado en octubre de 2018, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5063615>

GONZÁLEZ MADARIAGA, Francisco J., 2013, *Ecoeficiencia: propuesta de diseño para el mejoramiento ambiental*, Editorial Universitaria, Guadalajara, México.

GREENPEACE, 2019, Reciclar, La falacia de la industria en la lucha contra la contaminación plástica, Estado de reciclaje en México, recuperado en <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2617486/Greenpeace/templates/pages/alianza/estado-del-reciclaje-reporte-completo.pdf>

GUDYNAS, Eduardo, 2010, 'Imágenes, ideas y conceptos sobre la naturaleza en América Latina', [en línea], Cultura y Naturaleza, Leonardo M., Editorial Jardín Botánico J.C. Mutis, pp. 267-292, Bogotá, Colombia, consultado: mayo de 2020, <http://www.gudynas.com/publicaciones/capitulos/GudynasConceptosNaturalezaCo10.pdf>

GUDYNAS, Eduardo, 2013, 'Extracciones, extractivismos y extrahecciones, Un marco conceptual sobre la apropiación de recursos naturales', [en línea], *Observatorio del Desarrollo*, CLAES Centro Latino Americano de Ecología Social, no. 18, febrero 2013, Montevideo, Uruguay, consultado: 05 de julio de 2020, <http://ambiental.net/wp-content/uploads/2015/12/GudynasApropiacionExtractivismoExtraheccionesOdeD2013.pdf>

- GUEVARA PATIÑO, Ragnhild, 2016, 'El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos?', *FOLIOS*, Segunda época, No. 44, Segundo semestre de 2016, pp. 165-179, consultado: 10 de abril de 2019, <http://www.scielo.org.co/pdf/folios/n44/n44a11.pdf>
- GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto, 2008, *Análisis y diseño de experimentos*, McGraw Hill, México DF.
- HAMILTON, David, 1989, *Alfarería y cerámica*. Editorial Cea, Barcelona, España.
- HARARI YUVAL, Noah, 2019, *21 lecciones para el siglo XXI*, Editorial Debate, México.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, 2014, *Metodología de la investigación*. 6ta edición, McGraw Hill, México D.F.
- IIFAEM, 2020 Mapa de Densidad artesanal, Enero 2020, https://iifaem.edomex.gob.mx/mapa_densidad
- INAES, S/F, *Alfarería y cerámica, Guías empresariales*, [en línea], consultado julio 2019, http://inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia_empresarial/alfareria_y_ceramica.pdf
- INEGI, 2019, Medio Ambiente, Residuos sólidos 'Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2019', consultado: junio 2020, <https://www.inegi.org.mx/temas/residuos/default.html#Tabulados>
- INFOCERÁMICA, 2017, Noticias e información sobre cerámica, nota del día 26 de septiembre de 2017, consultado el 21 de septiembre de 2018 <http://www.infoceramica.com/2017/09/more-clay-less-plastic-2/>
- INFORME BRUNDLAND, (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo*. Nueva York: ONU, [en línea], consultado octubre 2018, http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CM_MAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
- IRSCDMX, 2018, Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, 2018, Secretaria de Medio Ambiente, consultado: 29 de septiembre de 2019, <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2018-VF-09-09-2019.pdf>
- IZUZQUIZA, Ignacio. 2003, *Filosofía del presente*, Editorial Alianza, Madrid, España.

- KIRK-OTHMER, 1978, "Encyclopedia of Chemical Technology", vol.11, third edition, Wiley-Interscience Publication, New York, USA.
- KUHN, Thomas S. [1962] 1994. *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México DF.
- LOVELOCK, James, 2007, *La venganza de la tierra*, Planeta Mexicana, México DF.
- MALLAR, Miguel A., 2010, La gestión por procesos: Un enfoque de gestión eficiente, Revista Científica "Visión de Futuro", vol.13, núm.1, enero-junio 2010, Universidad Nacional de Misiones, Misiones, Argentina, consultado: 28 agosto 2020, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357935475004>
- MARGOLIN, Victor, 2017, Construir un mundo mejor, Diseño y responsabilidad social, Editorial Designio
- MARTIN JUEZ, Fernando, 2002, Contribuciones para una antropología del Diseño, Editorial Gedisa, Barcelona.
- MATTEUCCI, F.; Guarini, G. y Dondi, M., 2002, 'Effect of soda-lime glass on sintering and technological properties of porcelain stoneware tiles', *Revista Ceramics International*, vol.28, no.8, pp. 873-880, ISSN: 0272-8842, consultado: 21 junio 2020, [https://doi.org/10.1016/S0272-8842\(02\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0272-8842(02)00067-6)
- MATTISON, Steve, 2006, *Guía completa del ceramista, Herramienta, materiales y técnicas*, Editorial Blume, Barcelona, España.
- MATURANA, Humberto y Varela, Francisco, 2003, *El árbol del conocimiento*, Editorial Lumen y Editorial Universitaria, Buenos Aires, Argentina.
- MEADOWS, Donella H.; Meadows, Dennis L. y Randers, Jørgen, [1992] 1994, *Más allá de los límites del crecimiento*, Ediciones El País y Aguilar, Madrid, España.
- MORIN, Edgar, [1990] 2011, *Introducción al pensamiento complejo*, Editorial Gedisa, Barcelona, España.
- NAULAGUARI, G., Peralta, J., Tapia, D. y Álvarez, X., 2018, Reciclaje de Vidrio, Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería Industrial, asignatura: tecnología del Medio Ambiente, Cuenca, Ecuador, [en línea], consultado julio 2019, https://www.academia.edu/36938201/Reciclaje_del_Vidrio

- NMX-C-077-1997-ONNCCE, *Agregados para concreto análisis granulométrico y métodos de prueba*, consultado en línea en marzo de 2019 en <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas40.pdf>
- NMX C170-ONNCCE-1997, *Agregados-Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo requerido de las pruebas*, consultado en línea en marzo de 2019 en <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas35.pdf>
- OLIVERAS Y ALBERÚ, J.M., 2004, 'La problemática en la salud y el medio ambiente vinculada con los procesos productivos de cerámicas' *Revista Diseño y Sociedad*, No. 16, Primavera 2004, pp. 24-31, consultado: 21 junio 2019, <http://bidi.xoc.uam.mx/MostrarPDF.php>
- ONU, 2017, *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, consultado: 21 junio 2019, <https://news.un.org/es/story/2017/05/1378771>
- PAPANEK, Víctor, 1984, *Diseñar para un mundo real, Ecología humana y cambio social*, Editorial Octaedro, España
- PASCUAL, Alex, 2016, *Stop basura: La verdad abreviada sobre reciclar* [en línea], Décimo tercera edición CONAMA, Madrid, consultado: 21 junio 2020 <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2016/CT%202016/1998973493.pdf>
- PGIRS, 2016, *Programa de Gestión Integral e Residuos Sólidos 2016*, (PGIRS 2016-2020), Secretaria del Medio Ambiente, consultado: 21 junio 2019, <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>
- RADO, Paul, 1988, *Introducción a la tecnología de la cerámica*. Editorial Omega, Barcelona, España.
- RAE, 2019, consultado: 21 junio 2019, <https://dle.rae.es/reutilizar?m=form>
- RAIMONDO, M.; Zanelli, C.; Matteucci, F.; Guarini, G.; Dondi, M. y Labrincha, J., 2007, 'Effect of waste glass (PC/TV screen and cathode tube) on technological properties and sintering behavior of porcelain stoneware tiles', *Revista Ceramics International*, vol.33, no.4, pp. 615-623, ISSN: 0272-8842, consultado: 21 de junio de 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2005.11.012>

- RESNICK, Mitchel, 2001, *Tortugas, termitas y atascos de tráfico*, Gedisa, España.
- RICARD, André, 2000, *La aventura creativa. Las raíces del diseño*, Ariel, España.
- SÁNCHEZ VERGARA, María Elena y Campos Silva, Iván Enrique, 2010, *Tecnología De Materiales*, Editorial Trillas, México DF.
- SANTOS AMADO, J.D.; Malagón Villafrades, P.Y. y Córdoba Tuta, E.M., 2011, 'Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de barichara, santander', *Revista DYNA Universidad Nacional de Colombia*, vol.78, no.167, pp. 50-58, ISSN 2346-2183, consultado: 21 junio 2020, <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25762>
- SANZ ADÁN, Félix, 2014, *Ecodiseño, Un nuevo concepto en el desarrollo de productos*, Lección inaugural del curso 2003/2004, Universidad de La Rioja, [en línea] ISBN 978-84-697-0046-4 <https://dialnet.unirioja.es/download/libro/334814.pdf>
- SE, S/F, *Guías Empresariales*, Secretaría de Economía, [en línea], julio 2020, <http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=8&guia=36&giro=4>
- SENER, 2019, consultado: marzo de 2020, <https://www.gobmx/sener/que-hacemos>
- SEP, 1988, *Enciclopedia de México*, Vidrio, tomo XIV, Enciclopedia de México y Secretaria de Educación Pública, 1988. La importancia del envase en la producción y venta de productos, México.
- SILVA MANCILLA, Lucero Guadalupe, 2017, *Reutilización de Residuos de Vidrio como Adición Mineral de Cementantes Hidráulicos*, UAM Azcapotzalco, CDMX, México.
- TAKEUCHI, Noburo, 2014, *Energía y medio ambiente, Manual básico de innovaciones tecnológicas para su mejor aprovechamiento*. Editorial Miguel Ángel Porrúa, México DF.
- THACKARA, Jhon, 2013, *Diseñando para un mundo complejo, Acciones para lograr la sustentabilidad*, Editorial Designio S.A. de C.V., Ciudad de México, México.
- TYL, Benjamín, 2011, 'Ecoeficiencia industrial. Cómo alcanzar la ecoeficiencia a través del ecodiseño y de la ecología industrial', [en línea], Remar, Red Energía y Medio Ambiente, junio 2011, consultado: 21 de junio de 2020,

<http://docplayer.es/11480913-Emar-ecoeficiencia-industrial-como-alcanzar-la-ecoeficiencia-a-traves-del-ecodisen-y-de-la-ecologia-industrial.html>

VARELA ROJAS, Irene, 2003, 'Definición de producción más limpia', [en línea], Revista Tecnología En Marcha, Vol. 16, no. 2, pp. 3-12, consultado: 21 de junio de 2020, https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1481

VILCHIS, Luz del Carmen, 2002, Metodología del Diseño, Fundamentos Teóricos, Editorial Claves Latinoamericanas, México.

VITRO, 2017, Vidriera Monterrey, "Comprometidos con la innovación y la sustentabilidad desde 1909", fecha de consulta 20 de marzo de 2019, disponible en <https://www.vitro.com/es/nuestra-empresa/historia.aspx>

VEZZOLI, Carlo y Manzini, Ezio, [2007] 2015, *Diseño de productos ambientalmente sustentables*, Editorial Designio, México DF.

<https://www.arcedianorecuperaciones.com/que-es-reciclar/>

<https://www.magna-glaskeramik.de/>

<https://www.marphil.com/>

<https://www.milenio.com/negocios/vidrio-solido-mexico-produccion-crecera-3>

<http://www.mosaicsplanas.com/es/>

<https://www.polydros.es/>





<http://www.revistacomercioexterior.com/articulo.php?id=838&t=industria-ceramica-y-ladrillera-en-mexico-supera-los-30-mil-mdp>

<https://www.sumiglas.com/>

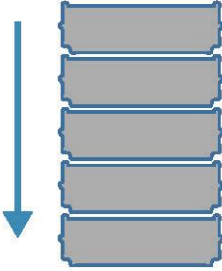
https://trayectocuatroeninformatica.files.wordpress.com/2017/09/ciclo_reciclaje_vidrio_1-1.png?w=660

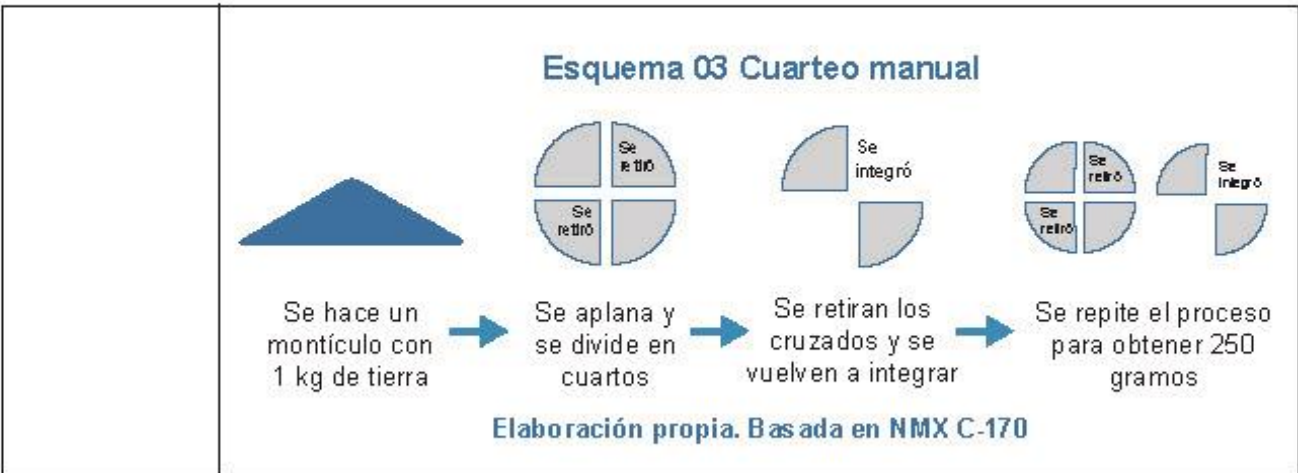
<https://www.trituradosromeral.com/>

Elaboró: D.I. Jaime Miguel Hernández González	Ensayo: 01
Responsable: Mtro. Juan Ricardo Alarcón Martínez Arq. Daniel España Aguilar	Elaboración: 01/07/2020
Ensayo: Prueba de sedimentación a muestra de tierra comercial de "Distribuidora Casa Vázquez"	Fecha ensayo: 26/06/2019
Tema de investigación: Aprovechamiento de vidrio recuperado en la fabricación de piezas cerámicas	Tiempo empleado: 1 hora
	Lugar de ensayo: LITEC UAM-X
Objetivos del ensayo	La prueba se realiza para: 1) Determinar el porcentaje de arena, arcilla y limo que contiene la tierra comercial que se utilizará en el trabajo de investigación. 2) Determinar si se puede utilizar sin necesidad de tamizar o integrar otro tipo de tierra.
Palabras clave Definición de la RAE	Tierra: Material desmenuzable de que principalmente se compone el suelo natural. Grava: Mezcla de guijas, arena y a veces arcilla que se encuentra en yacimientos. Arcilla: Tierra finamente dividida, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, que procede de la descomposición de minerales de aluminio, blanca cuando es pura y con coloraciones diversas según las impurezas que contiene. Limo: Lodo, cieno. Lodo blando que forma depósito en ríos, y sobre todo en lagunas o en sitios bajos y húmedos.
Marco conceptual	<p>Se coloca la tierra en una botella graduada con escalas de 10% hasta la marca del 100% y se agrega agua hasta el cuello. Después se agita muy bien hasta que no existan grumos y la sustancia trasluz, se coloca contra el sol o luz fuerte, a fin de visualizar como se precipitan primero las arenillas de grano grueso, luego las de grano medio, al final la sustancia más fina.</p> <p>Una vez decantado se determinaran visualmente la correlación entre las tres capas que se hallan bien diferenciadas (Guerrero, 2006).</p> <p>1. En el fondo se deposita la capa gruesa. Arenillas o cuarcita, 2. En el medio los finos y 3. En la parte superior en una capa delgada el coloide.</p> <div style="text-align: center;"> <p>Esquema 01 Prueba de sedimentación</p> </div>

Equipo	- Pala, charola, cernidor con malla de acero 2.7 mm de abertura ¹ , botella graduada.
Ensayo	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Foto 1. Se seleccionó la muestra de forma aleatoria para después cernirla y relizar una selección de partes</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Foto 2. Se realizó una selección de acuerdo a separación de partes para muestra representativa</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Foto 3. Se llenó hasta la marca del 100% con material seleccionado tomando como referencia la NMX C-030 ONNCCE².</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Foto 4. Se llenó con agua hasta el cuello de la botella y se agitó, se tomó registro dos días después.</p> </div> </div>
Datos obtenidos	<p>Dos días después de realizada la prueba se registró el resultado. El porcentaje de arenilla que se registró fue de 55%, el de finos de 30% y 15% de limo.</p>
Conclusiones	<p>La tierra comercial con la que se febrican los BTC en el Laboratorio de Investigación Tecnológica (LITEC) tiene alto contenido de arena, por lo que para trabajar con ella se debe agregar arcilla para que le confiera plasticidad, pero no se descarta su uso debido a que es una tierra con alto contenido en hierro y es una muestra que representa un espectro amplio de la tierra que se puede utilizar.</p>
Referencias	<p>¹ Se utiliza para cernir las arenas para construcción y se utilizó la malla más fina comercilmente. http://www.acerosvimar.com/productos/malla-criba.html ² La norma establece los criterios para la selección de una muestra de agregados. consultado en línea en http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas29.pdf</p>

Registro de Prueba de granulometría

Elaboró:	D.I. Jaime Miguel Hernández González	Ensayo:	02
Responsable:	Mtro. Juan Ricardo Alarcón Martínez Arq. Daniel España Aguilar Jose Reyes Cruz	Elaboración:	01/07/2020
		Fecha ensayo:	26/06/2019
Ensayo:	Prueba de granulometría a muestra de tierra comercial de "Distribuidora Casa Vázquez"	Tiempo empleado:	5 horas
Tema de investigación:	Aprovechamiento de vidrio recuperado en la fabricación de piezas cerámicas	Lugar de ensayo:	LITEC UAM-X
Objetivos del ensayo	<p>La prueba se realiza para conocer:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) El porcentaje de tierra útil que pasa malla #100 y que puede ser utilizada en las pruebas para el trabajo de investigación. 2) Determinar si la muestra es un agregado grueso o un agregado fino. 3) Determinar el porcentaje mayor para definir si se realizan las pruebas con materia prima que pase malla #100 o movernos al siguiente tamaño de partícula, para mantener un mínimo de procesos y evitar el traslado de impactos 		
Palabras clave Definición de la RAE	<p>Granulometría: Parte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos. Tamaño de las piedras, granos, arena, etc., que constituyen un árido o polvo.</p> <p>Tamiz: Cedazo muy tupido. Sirve para separar las partes sutiles de las gruesas. Reservorio: Depósito.</p>		
Marco conceptual	<p>La Norma Mexicana NMX-C-077-1997-ONNCCE¹ señala el método para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños a través de las cribas.</p> <p>La Norma Mexicana NMX C170-ONNCCE-1997² establece los métodos para la reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo hasta el tamaño apropiado para prueba.</p> <p style="text-align: center;">Esquema 02 Prueba de criba o tamiz</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 45%;"> <p>La vibración hace que las partículas más pequeñas pasen a través de las mallas y queden alojadas en el reservorio. Las partículas que sean más grandes que la abertura de la malla queda retenida en el tamiz. Los tamices están ordenados de mayor a menor apertura de malla.</p> </div> <div style="width: 10%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 40%;"> <p>← Tamiz 3/8</p> <p>Tamices intermedios</p> <p>← Tamiz #100</p> <p>← Reservorio</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Elaboración propia. Basada en NMX C-077</p>		



Equipo

- Pala, charola, cernidor con malla de acero 2.7 mm de abertura¹, báscula, tamices malla 3/8", # 4, # 8, # 16, # 30, # 50, # 100, mortero, máquina de vibración modelo OCTAGON.

ISO (mm)	ASTM (#)	ISO (mm)	ASTM (#)
9.5 mm	3/8"	0.60 mm	# 30
4.75 mm	# 4	0.30 mm	# 50
2.36 mm	# 8	0.15 mm	# 100
1.18 mm	# 16	Reservorio	

Se coloca como base el reservorio y se van colocando encima de este en número descendente los distintos tamices.

Elaboración propia. Basada en <https://www.tamices.es/>

Preparativo

Se realizaron dos ensayos, el primer ensayo con tierra tomada tal y como la comercializa la casa de materiales, espaciando la toma de muestras. El segundo ensayo se realizó con tierra que tiene un proceso de cernido con malla de acero.

La tierra estaba seca y se eliminaron algunas piezas grandes con la presión de la mano para desmonorrlas.

Foto 1. José preparó el equipo de acuerdo con el manual de práctica de granulometría del LITEC.

Foto 2. Tamices, charolas y equipo de laboratorio para realizar el ensayo.

Ensayo



Foto 3. Se seleccionaron varias muestra de forma aleatoria en un mismo banco de tierra.



Foto 4. Se pesó 1 kg de la muestra de tierra integrada por 10 secciones de la tierra tomada de forma aleatoria.



Foto 5. Se colocó en la charola, se distribuyó y se dividió en cuatro secciones. Se eliminaron dos partes.



Foto 6. Una vez que se retiraron dos de las cuatro secciones se repitió el proceso y se obtuvieron 250 gramos.



Foto 7. Se mezcló en seco hasta que la muestra de tierra fue homogénea y fuese una muestra representativa.



Foto 8. Se pesaron 200 gramos de la muestra homogénea para ser colocada en tamices ordenados por # de malla.



Foto 9. Los tamices se ordenaron por tamaño: 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y reservorio.

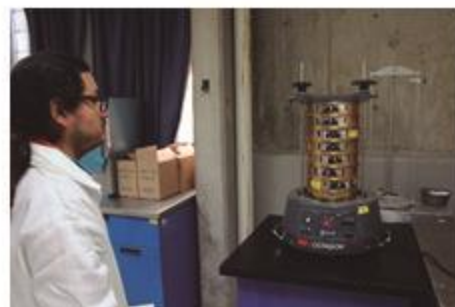


Foto 10. Los tamices se colocan en la máquina vibradora eléctrica modelo OCTAGON por 3 minutos.

Ensayo



Foto 11. Después de 3 minutos en la máquina cada tamiz fue vaciado en una hoja para facilitar su manipulación.



Foto 12. Cada tamiz fue limpiado con brocha para no tener pérdida de material en el pesado.



Foto 13. Una vez obtenidas todas las muestras de los diferentes tamices se procedió a pesar cada resultado.



Foto 12. Se pesó en un crisol la cantidad retenida en cada tamiz y se registró para elaborar una tabla.

Datos obtenidos

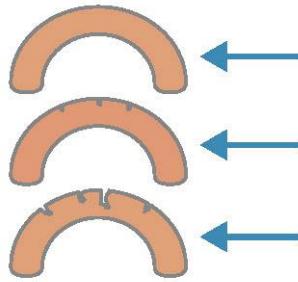
Tabla 02 Prueba de granulometría sin cernido previo				
# Tamiz	Peso en gr.	Factor 0.5	Porcentaje	Acumulado
3/8"	6	0.5	3.00%	3.00%
# 4	13.8	0.5	6.90%	9.90%
# 8	34.5	0.5	17.25%	27.15%
# 16	37.9	0.5	18.95%	46.10%
# 30	34.3	0.5	17.15%	63.25%
# 50	26.7	0.5	13.35%	76.60%
# 100	20	0.5	10.00%	86.60%
Reservorio	25.4	0.5	12.70%	99.30%
	198.6			



Tabla 03 Prueba de granulometría con cernido previo				
# Tamiz	Peso en gr.	Factor 0.5	Porcentaje	Acumulado
3/8"	0	0.5	0.00%	0.00%
# 4	0	0.5	0.00%	0.00%
# 8	2.1	0.5	1.05%	1.05%
# 16	19	0.5	9.50%	10.55%
# 30	25.5	0.5	12.75%	23.30%
# 50	35.7	0.5	17.85%	41.15%
# 100	36.5	0.5	18.25%	59.40%
Reservorio	80	0.5	40.00%	99.40%
	198.8			

Elaboración propia con datos registrados en la prueba

<p>Conclusiones</p>	<p>No todas las tierras tienen las mismas características, y por lo tanto, hay unas más adecuadas que otras para la artesanía. Los materiales son distintos en cada región del país debido a los diferentes procesos químicos, físicos y biológicos que inciden en la tierra lo cual repercute en la maleabilidad y quemado del material. La arcilla es una sustancia de grano fino compuesto de sílice, alúmina y agua, dependiendo del tipo de suelo puede contener hierro, álcalis o tierras alcalinas (Ayala, 2014:85)</p> <p>La extracción de arcillas es el primer proceso y los alfareros expertos típicamente extraen esta materia prima de los bancos próximos a sus hogares para después molerlo y cernirlo como parte de la preparación para una adecuada materia prima (Ayala, 2014:87)</p> <p>Los datos que se obtuvieron con la prueba de material sin un cernido previo indicaron que el porcentaje útil de tierra era del 12.7% y que la mayoría del material se distribuyo a partir del tamiz # 8. Pero una vez realizado un cernido del material, que forma parte del proceso que realizan los alfareros, se obtuvo un incremento al registrarse un porcentaje útil del 40% que paso la malla # 100, por lo que realizar las pruebas con este tamaño de partícula está en el rango de condiciones que marca la norma NMX-C-077 para un agregado fino.</p>
<p>Referencias</p>	<p>¹El procedimiento se refiere a los agregados para concreto, análisis granulométrico y métodos de prueba. http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas40.pdf</p> <p>² La norma establece los criterios para la selección de una muestra de agregados. consultado en línea en http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas35.pdf</p> <p>³El tamaño de los tamices se consultó en la página https://www.tamices.es/wp-content/uploads/2015/07/Tabla_comparativa_normas.pdf</p>

Registro de Prueba de plasticidad

Elaboró:	D.I. Jaime Miguel Hernández González	Ensayo:	03
Responsable:	Mtro. José Leandro Mendoza Cuenca	Elaboración:	02/07/2020
Ensayo:	Prueba de plasticidad de compuesto de tierra con polvo de vidrio en diferentes proporciones	Fecha ensayo:	04/09/2019
Tema de investigación:	Aprovechamiento de vidrio recuperado en la fabricación de piezas cerámicas	Tiempo empleado:	3 horas
		Lugar de ensayo:	Taller de vidrio
Objetivos del ensayo	La prueba se realiza para conocer: 1) Conocer la plasticidad que se presenta al incrementar el porcentaje de vidrio molido. 2) Determinar una escala de plasticidad para los compuestos elaborados.		
Palabras clave Definición de la RAE	<p>Plasticidad: Cualidad de plástico. Plástico: Capaz de ser modelado. Dicho de un material: Que, mediante una compresión, puede cambiar de forma y conservar esta de modo permanente, a diferencia de los cuerpos elásticos. Rotura: Acción y efecto de romper o romperse. Grieta: Hendidura alargada que se hace en la tierra o en cualquier cuerpo sólido.</p>		
Marco conceptual	<p>Cuando una arcilla se mezcla con una cantidad controlada de agua se obtiene una masa que puede ser moldeada con facilidad. Esta propiedad se denomina plasticidad y ha sido la base para el modelado de los productos cerámicos desde la antigüedad¹</p> <p>La plasticidad es la propiedad que permite que un material cambie su forma, sin rotura, al aplicar una fuerza externa, y retener dicha forma cuando la fuerza sea eliminada o reducida en cierto valor².</p> <p>Se considera que una arcilla es más plástica que otra cuando soporta deformaciones mayores sin que aparezcan grietas(Fernández, 1962:26).</p> <p>Los límites de Atterberg caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino: estado sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso³</p> <p style="text-align: center;">Esquema 04 Criterio adoptado para medir escala de plasticidad</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>← Mayor plasticidad Más dúctil sin señales de agrietamiento</p> <p>← Menor plasticidad Grietas menores</p> <p>← Escasa plasticidad Grietas prominentes y se rompe con facilidad</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Elaboración propia. Basada en Mattison (2004)</p>		

<p>Equipo</p>	<p>1. Báscula 2. Mortero con pistilo 3. Bolsas de plástico 4. Vaso de plástico</p> <p>5. Vidrio molido que pasó malla # 100 6. Tierra cernida que pasó malla # 100 7. Arcilla nacional 8. Plumón indeleble</p>																																																
<p>Preparativo</p>	<p>Los compuestos para las pruebas se componen de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Vidrio molido con un tamaño de partícula menor a 0.15 mm. 2. Tierra con alto contenido de hierro y partícula menor a 0.15 mm. 3. Arcilla nacional comercial con tamaño de partícula menor a 0.075 mm. <p>Los porcentajes para cada muestra se desglosan en la siguiente tabla:</p> <table border="1" data-bbox="616 600 1267 1167"> <caption>Tabla 04 Porcentaje de material en muestras</caption> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>Porcentaje de vidrio</th> <th>Porcentaje de tierra</th> <th>Porcentaje de arcilla</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>M0</td><td>0%</td><td>50.00%</td><td>50.00%</td></tr> <tr><td>M1</td><td>5%</td><td>47.50%</td><td>47.50%</td></tr> <tr><td>M2</td><td>10%</td><td>45.00%</td><td>45.00%</td></tr> <tr><td>M3</td><td>15%</td><td>42.50%</td><td>42.50%</td></tr> <tr><td>M4</td><td>20%</td><td>40.00%</td><td>40.00%</td></tr> <tr><td>M5</td><td>25%</td><td>37.50%</td><td>37.50%</td></tr> <tr><td>M6</td><td>30%</td><td>35.00%</td><td>35.00%</td></tr> <tr><td>M7</td><td>35%</td><td>32.50%</td><td>32.50%</td></tr> <tr><td>M8</td><td>40%</td><td>30.00%</td><td>30.00%</td></tr> <tr><td>M9</td><td>45%</td><td>27.50%</td><td>27.50%</td></tr> <tr><td>M10</td><td>50%</td><td>25.00%</td><td>25.00%</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Elaboración propia.</p> <p>Como preparativo para realizar la prueba de plasticidad se recolectó vidrio de botella, tierra rojiza y se compró arcilla nacional.</p> <p>El vidrio se limpió, trituroó, tamizó y se clasificó. La tierra se tamizó y se clasificó. La arcilla nacional se utilizó sin ningún proceso adicional.</p> <p>Se marcaron bolsas de plástico con los diferentes porcentajes de vidrio para su integración en seco.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="456 1518 916 1821">  </div> <div data-bbox="971 1518 1436 1821">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="467 1827 906 1921"> <p>Foto 1. Se tamizó la tierra con diferentes tamices, hasta obtener un tamaño de partícula de 0.15 mm.</p> </div> <div data-bbox="979 1827 1433 1921"> <p>Foto 2. Se clasificó la tierra de acuerdo al tamaño de partícula, pero sólo se utilizó la que pasó malla #100</p> </div> </div>	Muestra	Porcentaje de vidrio	Porcentaje de tierra	Porcentaje de arcilla	M0	0%	50.00%	50.00%	M1	5%	47.50%	47.50%	M2	10%	45.00%	45.00%	M3	15%	42.50%	42.50%	M4	20%	40.00%	40.00%	M5	25%	37.50%	37.50%	M6	30%	35.00%	35.00%	M7	35%	32.50%	32.50%	M8	40%	30.00%	30.00%	M9	45%	27.50%	27.50%	M10	50%	25.00%	25.00%
Muestra	Porcentaje de vidrio	Porcentaje de tierra	Porcentaje de arcilla																																														
M0	0%	50.00%	50.00%																																														
M1	5%	47.50%	47.50%																																														
M2	10%	45.00%	45.00%																																														
M3	15%	42.50%	42.50%																																														
M4	20%	40.00%	40.00%																																														
M5	25%	37.50%	37.50%																																														
M6	30%	35.00%	35.00%																																														
M7	35%	32.50%	32.50%																																														
M8	40%	30.00%	30.00%																																														
M9	45%	27.50%	27.50%																																														
M10	50%	25.00%	25.00%																																														

Preparativo



Foto 3. Se recolectó, limpió, trituró, tamizó y clasificó el vidrio de acuerdo al tamaño del grano.



Foto 4. Se compró arcilla nacional para integrar a la tierra y al vidrio molido para integrar el compuesto.



Foto 5. Se marcaron las bolsas con el porcentaje que se agregó a cada compuesto.



Foto 6. Se mezcló tierra y arcilla en seco. Se consideraron proporciones iguales de peso para el compuesto.



Foto 7. Se pesó el vidrio molido para agregarse a la tierra y a la arcilla, y así obtener un 100% del compuesto.



Foto 8. Se integró vidrio, tierra y arcilla en seco con el mortero y pistilo. Se colocó en las bolsas marcadas.



Foto 9. Se hidrató la mezcla y se integraron los materiales.



Foto 10. Se reguló el excedente de agua colocando la mezcla en una placa de yeso.

Ensayo



Foto 11. Se amasó y se observó que el compuesto con 5% de vidrio no presentaba grietas.



Foto 12. Se amasó la muestra con 10% de vidrio y se observó que presentó excelente plasticidad.



Foto 13. Se formó un churro y se dobló para comprobar la presencia de grietas



Foto 14. El compuesto con 15% de vidrio se amasó y presentó excelente plasticidad.



Foto 15. Se formó un churro y no presentó grietas visibles con el compuesto con 15% de vidrio.



Foto 16. El compuesto con 20% de vidrio presentó buena plasticidad cuando se dobló el churro.



Foto 17. El compuesto con 20% de vidrio presentó ligeras grietas al amasarlo.



Foto 18. El compuesto con 35% de vidrio presenta grietas evidentes al amasarlo.

Ensayo



Foto 19. El compuesto con 35% de vidrio presentó pobre plasticidad y grietas cuando se hizo el churro.



Foto 20. El compuesto con 40% de vidrio presentó pobre plasticidad y grietas cuando se hizo el churro.



Foto 21. El compuesto con 45% de vidrio presentó nula plasticidad y no se pudo hacer el churro.



Foto 22. El compuesto con 50% de vidrio presentó una nula plasticidad y no se pudo hacer el churro.

Datos obtenidos

La presencia de grietas se hizo más evidentes en los compuestos con un mayor porcentaje de vidrio. Por lo tanto se estableció una escala para clasificar los compuestos con cinco grados que van de excelente, buena, regular, pobre y nula plasticidad.

En la escala se colocaron los compuestos de acuerdo a la plasticidad, adherencia y presencia de grietas que se presentaron cuando se amasó y cuando se formó el churro.

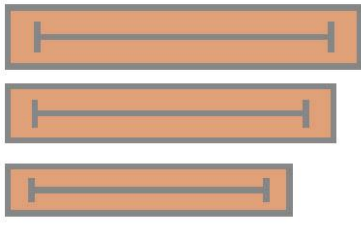
Esquema 05 Escala de plasticidad para clasificar los compuestos



Elaboración propia con datos registrados en la prueba

<p>Conclusiones</p>	<p>Con un mayor porcentaje de vidrio en el compuesto se observó que la plasticidad disminuyó, se presentaron grietas y el amasado se dificultó.</p> <p>Al comparar las diferentes muestras se realizó una clasificación y se realizó un esquema en forma de abanico para presentar los datos.</p> <p>La plasticidad es importante para la elaboración de piezas cerámicas, por lo que es importante conservar un buen grado de plasticidad que permita un buen conformado de las piezas.</p> <p>Con un porcentaje de hasta 20% se tuvo una plasticidad buena, que se puede utilizar para el conformado manual, el forjado, trabajar con placas y en el torno.</p>
<p>Referencias</p>	<p>¹ Ginés, F.; Feliu, C; García Ten, J. y Sanz, V., 1997, 'Análisis de los métodos tradicionales utilizados para evaluar la plasticidad', [en línea], Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, vol.36, no.1, pp. 25-30, Enero-Febrero 1997, consultado: 21 de junio de 2019, http://boletines.secv.es/upload/199736025.pdf</p> <p>² Doménech, V.; Sánchez, E.; Sanz, V.; García, J. y Ginés, F., 1994, 'Estimación de la plasticidad de masas cerámicas mediante la determinación de la fuerza de indentación', [en línea], Qualicer, World congress on ceramic tile quality Cuarta edición 1994, pp. 61-71, consultado: 21 de junio de 2019, http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/9423041s.pdf</p> <p>³ Un suelo de grano fino puede pasar de un estado de consistencia a otro en función del contenido en humedad, consultado: 21 de junio de 2020: http://geotecniafacil.com/limites-de-atterberg/</p>

Registro de Prueba de encogimiento

Elaboró: D.I. Jaime Miguel Hernández González	Ensayo: 04
Responsable: Mtro. José Leandro Mendoza Cuenca	Elaboración: 03/07/2020
Ensayo: Registro de encogimiento de probetas con polvo de vidrio en diferentes proporciones	Fecha ensayo: 04/09/2019 12/09/2019 14/10/2019
Tema de investigación: Aprovechamiento de vidrio recuperado en la fabricación de piezas cerámicas	Tiempo empleado: 4 horas
	Lugar de ensayo: Taller de vidrio
Objetivos del ensayo	<p>La prueba se realiza para conocer:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) El porcentaje de encogimiento antes de quema en un compuesto de tierra y arcilla con diferentes cantidades de vidrio molido. 2) El porcentaje de encogimiento después de una quema de 855°C en un compuesto de tierra y arcilla con diferentes cantidades de vidrio molido. 3) El porcentaje de encogimiento después de una quema de 1140°C en un compuesto de tierra y arcilla con diferentes cantidades de vidrio molido.
Palabras clave Definición de la RAE	<p>Encogimiento: Acción y efecto de encoger o encogerse. Encoger: Dicho de una cosa; disminuir de tamaño al secarse. Sinterización: Acción y efecto de sinterizar. Sinterizar: Producir piezas de gran resistencia y dureza calentando, sin llegar a la temperatura de fusión, conglomerados de polvo a los que se ha modelado por presión.</p>
Marco conceptual	<p>El encogimiento se presenta en tres etapas. La primera cuando se seca a temperatura ambiente, la segunda cuando se bizcocha y la tercera si hay una segunda quema (Mattison, 2004:13).</p> <p>Las características comunes de todos los minerales arcillosos son una estructura laminar y la capacidad de absorber agua en la superficie y entre las placas, por lo que las arcillas cuando se les agrega agua son maleables, y al perder humedad sufren una contracción o encogimiento (Anderson, 1998:355).</p> <p style="text-align: center;">Esquema 06 Etapas de medición para prueba de encogimiento</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>← Primera medición Inmediato a la elaboración</p> <p>← Segunda medición Después de una semana</p> <p>← Tercera medición Después de quema</p> </div> </div> <p style="text-align: center; color: blue;">Elaboración propia. Basada en Anderson (1998)</p>

<p>Equipo</p>	<p>1. Molde de yeso 2. Charrasca 3. Harina 4. Alambre cal. 28</p>	<p>5. Regla graduada 6. Franela 7. Tabla para colocar probetas 8. Papel periódico</p>
<p>Preparativos</p>	<p>Las probetas se elaboraron con tres moldes de yeso. Se aplicó presión al compuesto para que adoptara la forma en el molde, se enrazó el sobrante con el alambre y se desmoldó por gravedad.</p> <p>Se marcó cada probeta con una línea de referencia y con la cantidad de vidrio. Se elaboraron 4 probetas de cada compuesto para una quema de 855°C y 4 probetas de cada compuesto para una quema de 1140°C¹.</p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  <p>Foto 1. Moldes de yeso que se utilizaron para la elaboración de las probetas.</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>Foto 2. Los compuestos se guardaron en bolsos de plástico para evitar que perdieran humedad.</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>Foto 3. Se fabricaron por compresión manual cuatro probetas para cada compuesto.</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>Foto 4. Se enrazó el sobrante de material y se marcó el porcentaje de cada compuesto.</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>Foto 5. Se alternó el uso de moldes, se aplicó harina como desmoldante y se desmoldaron por gravedad.</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>Foto 6. Cada vez que se desmoldaba la probeta era marcada con una línea de referencia de 10 centímetros.</p> </div> </div>	

Ensayo



Foto 7. Se colocaron sobre una superficie plana para dejarse secar una semana y volver a medir.

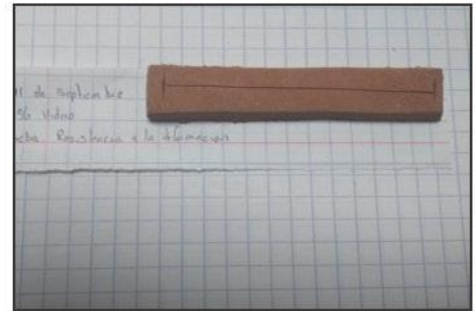


Foto 8. Se registró la medida de la línea de referencia después de la quema de 855°C.

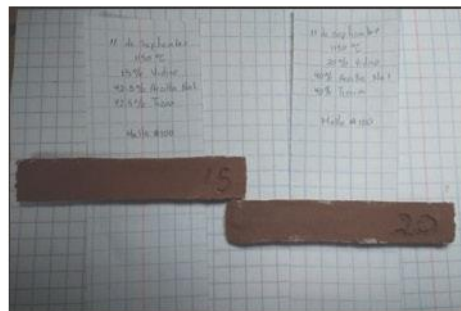


Foto 9. Después del registro de la medida de las probetas se almacenan para otros ensayos.



Foto 10. Se realizó la quema a una temperatura de 1140°C para tomar la medida de este encogimiento.



Foto 11. Se tomó la medida de las probetas quemadas a 1140°C.



Foto 12. Se guardaron las probetas para los demás ensayos.

Datos obtenidos

Se tomaron 3 registros: el primero cuando se marcaron las probetas con la línea de referencia de 10 cm, el segundo una semana después de secado a temperatura ambiente (20 a 23°C) y el tercero se tomó una vez retiradas las piezas del horno después de la quema.

Esquema 07 Etapas de registro para prueba de encogimiento



Registro 1

Se marcó una línea de 10 cm en cada probeta



Registro 2

Se midió la línea una semana después



Registro 3

Se midió la línea después de la quema

Elaboración propia.

**Datos
obtenidos**

Tabla 05 Registro del encogimiento en probetas quemadas a 855°C						
Muestra	% Vidrio	Medida 1	Medida 2	% Encogimiento	Medida 3	% Encogimiento
M0	Sin vidrio	10 cm	9.5 cm	5%	9.5 cm	5%
M1	5%	10 cm	9.5 cm	5%	9.5 cm	5%
M2	10%	10 cm	9.5 cm	5%	9.5 cm	5%
M3	15%	10 cm	9.5 cm	5%	9.5 cm	5%
M4	20%	10 cm	9.5 cm	5%	9.5 cm	5%
M5	25%	10 cm	9.6 cm	4%	9.6 cm	4%
M6	30%	10 cm	9.6 cm	4%	9.6 cm	4%
M7	35%	10 cm	9.7 cm	3%	9.7 cm	3%
M8	40%	10 cm	9.7 cm	3%	9.7 cm	3%
M9	45%	10 cm	9.7 cm	3%	9.7 cm	3%
M10	50%	10 cm	9.7 cm	3%	9.7 cm	3%

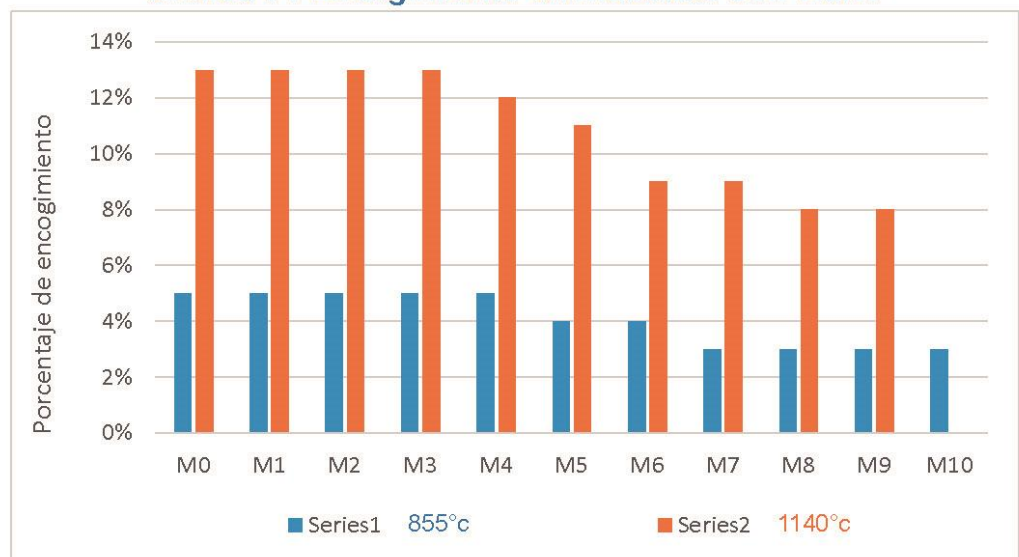
Tabla 06 Registro del encogimiento en probetas quemadas a 1140°C						
Muestra	% Vidrio	Medida 1	Medida 2	% Encogimiento	Medida 3	% Encogimiento
M0	Sin vidrio	10 cm	9.5 cm	5%	8.7 cm	13%
M1	5%	10 cm	9.5 cm	5%	8.7 cm	13%
M2	10%	10 cm	9.5 cm	5%	8.7 cm	13%
M3	15%	10 cm	9.5 cm	5%	8.7 cm	13%
M4	20%	10 cm	9.5 cm	5%	8.8 cm	12%
M5	25%	10 cm	9.6 cm	4%	8.9 cm	11%
M6	30%	10 cm	9.6 cm	4%	9.1 cm	9%
M7	35%	10 cm	9.7 cm	3%	9.1 cm	9%
M8	40%	10 cm	9.7 cm	3%	9.2 cm	8%
M9	45%	10 cm	9.7 cm	3%	9.2 cm	8%
M10	50%	10 cm	9.7 cm	3%	Se fusionó y no se pudo medir	

Elaboración propia con datos registrados en la prueba

Con los datos obtenidos se elaboró una gráfica para comparar el porcentaje de encogimiento de las probetas quemadas a diferente temperatura.

Se tomaron los porcentajes después de quema porque son los más representativos ya que se presenta una fase líquida².

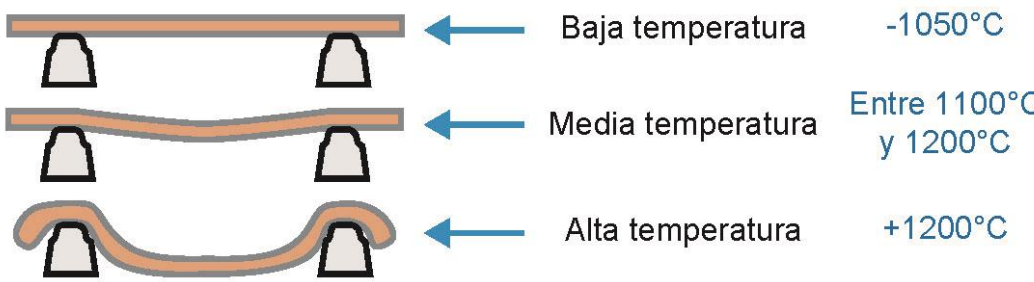
Gráfica 01 Encogimiento en muestras con vidrio



Elaboración propia con datos registrados en la prueba

Conclusiones	<p>En un proceso de quema a baja temperatura de 855° no se presenta una fase líquida y los materiales no se compactan, por lo que el porcentaje de encogimiento no es mayor al 5%. Aunque se agrega vidrio recuperado con la intención de promover la fase líquida, esta no se presenta, aunque si promueve un menor encogimiento ya que el vidrio funciona como un agregado grueso que no permite aumentar la densidad en el cuerpo de las pruebas.</p> <p>A diferencia de una quema a media temperatura de 1140°C en la que se presenta una fase líquida y la diferencia en el porcentaje de encogimiento tiene un rango más amplio se observa una tendencia a disminuir cuando el porcentaje de vidrio es mayor, por lo que con un porcentaje menor de vidrio se tiene un cuerpo más compacto pero a mayor cantidad de vidrio la fase líquida se promueve.</p>
Referencias	<p>¹La temperatura se establece con base en los rangos contemplados comercialmente y que se establecen en la tabla de conos seger. https://ceramica.fandom.com/wiki/-Tabla_de_conos_de_Seger</p> <p>²“La sinterización en fase líquida puede disminuir la temperatura de sinterización y aumentar la densidad; además, la fase de vidrio es una parte importante de algunos materiales cerámicos”, consultado en línea en https://es.csceramic.com/-blog/liquid-phase-sintering-of-alumina-ceramic_b10</p>

Registro de Prueba de resistencia a la temperatura

Elaboró:	D.I. Jaime Miguel Hernández González	Ensayo:	05
Responsable:	Mtro. José Leandro Mendoza Cuenca	Elaboración:	04/07/2020
Ensayo:	Prueba de resistencia del compuesto de tierra, arcilla y vidrio sometido a una quema a 855°C y 1140°C	Fecha de los ensayos:	11/09/2019 18/10/2019
Tema de investigación:	Desarrollo, aplicación y análisis de un proceso para la fabricación de objetos cerámicos con polvo de vidrio reciclado.	Tiempo empleado:	- horas - min. 6 horas 7 min.
		Lugar de ensayo:	Taller cerámica DI UAM-X
Objetivos del ensayo	<p>La prueba se realiza para conocer:</p> <p>1) La deformación que tiene la arcilla a una temperatura de 855°C y 1140°C con diferentes porcentajes de vidrio molido.</p> <p>2) Saber si al incrementar el porcentaje de vidrio molido la resistencia a la temperatura de la arcilla se incrementa, se mantiene o disminuye.</p>		
Palabras clave Definición de la RAE	<p>Resistencia: Fuerza que se opone a la acción de otra fuerza.</p> <p>Deformación: Acción y efecto de deformar. Deformar: Hacer que algo pierda su forma regular o natural. Caída: Declinación o declive de algo.</p> <p>Temperatura: Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K). Escala Celsius: Escala que asigna el valor 0 al punto de fusión del hielo y el valor 100 al punto de ebullición del agua, a la presión normal.</p>		
Marco conceptual	<p>Algunas arcillas se derriten cuando se cuecen a temperaturas elevadas, especialmente las que contienen alto contenido de óxido de hierro, el cual actúa como fundente (Mattison, 1965).</p> <p>Los cambios químicos que presentan las arcillas al quemarse aproximadamente a 500°C es la formación de meta-caolín, cerca de los 925°C presenta fase tipo espinela, entre 1050°C y 1100°C pasa a fase mullita y a partir de los 1200°C la fase de la mullita evoluciona con parámetros de red firmes (Rado, 1990:13)</p> <p style="text-align: center;">Esquema 07 Consideración de la resistencia del compuesto a diferentes temperaturas</p>  <p style="text-align: center;">Elaboración propia. Basado en Rado (1990) y Vázquez (2005)</p>		

Esquema 08 Acomodo de probetas en el horno sobre postes



Equipo



Imagen 1 Horno¹

Horno electrónico para cerámica marca CRESS, modelo E-23 , con capacidad de 3.3 pies cúbicos, voltaje de 240 V y 36 amperes.

Consumo de 8.6 kilowatts por hora.

Equipo disponible para la quema de proyectos de alumnos de la licenciatura de Diseño Industrial.

Tabla 07 Temperatura de las quemas a realizar			
Conos de Seger en grados Celsius y Fahrenheit ²			
Temperatura °C	Temperatura °F	Cono Seger	El horno eléctrico tiene precargadas las curvas de velocidad para la alcanzar la temperatura
855°C	1571°F	012a	
1140°C	2084°F	3a	

Elaboración propia. Basada en <https://ceramica.fandom.com/>³

Se utilizó la velocidad MED-SLOW en la que la temperatura aumentara 400° F por hora hasta alcanzar 1000° F, después 100° F por hora hasta que el horno alcance 1100 F, después 400 F por hora hasta los últimos 250 F, después 108° F por hora hasta alcanzar la temperatura designada.

Preparativo

Se debe realizar una solicitud para utilizar el horno, con el objetivo de programar la quema y no interferir con el trabajo de los alumnos de trimestre en curso.



Foto 1. Se cargaron las probetas en el horno eléctrico después de una semana de secado.



Foto 2. Las probetas se retiraron del horno y se realizaron las mediciones de deformación.

Ensayo



Foto 3. La probeta con 5% de vidrio presentó una leve deformación con un registro de 2 mm.



Foto 4. Se registró una deformación similar a la probeta con 5% de vidrio.



Foto 5. Probeta con 15% de vidrio molido. La deformación empezó a denotarse en una curva ligera.

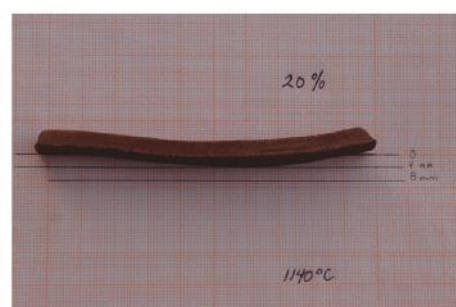


Foto 6. Probeta con 20% de vidrio, la caída de la probeta fue muy similar a la de 15% aunque con mayor irregularidad.



Foto 7. Probeta con 25% de vidrio, la curva fue uniforme con una leve carga a la izquierda.



Foto 8. Probeta con 30% de vidrio, la caída fue irregular y se cargó hacia el lado izquierdo.

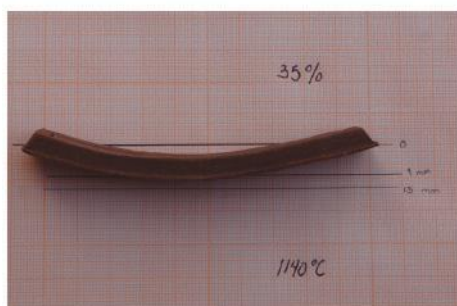


Foto 9. Probeta con 35% de vidrio, la caída fue uniforme y la medida fue muy similar a las de 30% y 25%.



Foto 10. Probeta con 40% de vidrio. La caída se separó de los valores de las probetas anteriores.

Ensayo

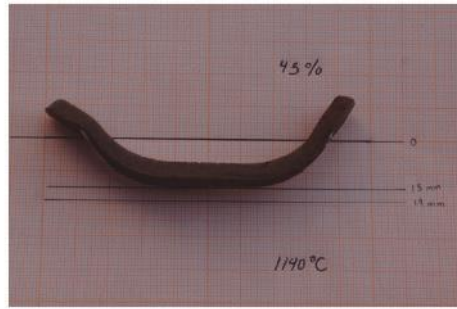


Foto 11. La medida de la caída se consideró a partir del lugar en el que la probeta descansaba en los postes.

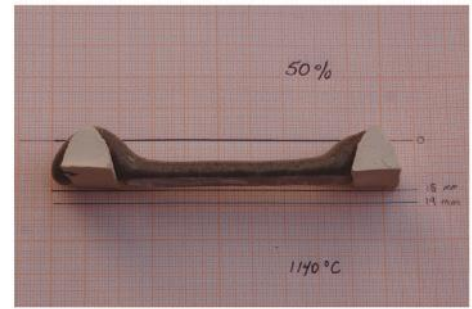


Foto 12. La fase líquida hizo que la probeta se fusionara a los postes cerámicos y tocara el piso del horno.

Datos obtenidos

Se realizaron dos mediciones: la primera en las probetas quemadas a una temperatura de 855°C y la segunda en las probetas quemadas a una temperatura de 1140°C.

Se colocaron las muestras de canto en una hoja milimétrica y se trazó la máxima distancia alcanzada por el cuerpo de la probeta para medirse y registrarse.

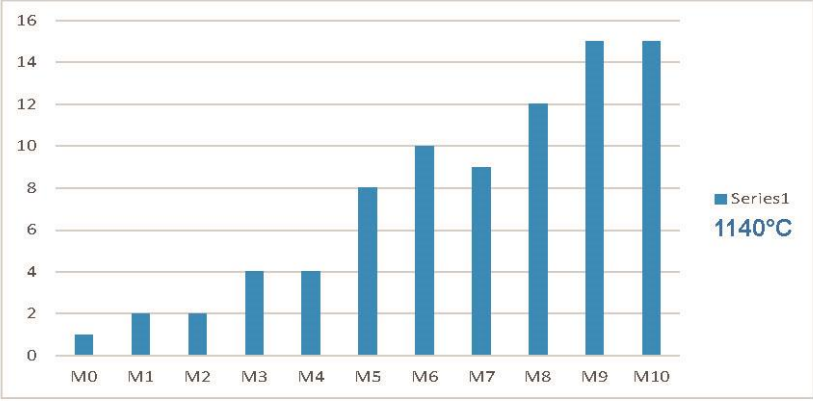
Tabla 08 Registro de deformación en probetas quemadas a 855°C

Muestra	% Vidrio	Desviación
M0	Sin vidrio	0 mm
M1	5%	0 mm
M2	10%	0 mm
M3	15%	0 mm
M4	20%	0 mm
M5	25%	0 mm
M6	30%	0 mm
M7	35%	0 mm
M8	40%	0 mm
M9	45%	0 mm
M10	50%	0 mm

Tabla 09 Registro de deformación en probetas quemadas a 1140°C

Muestra	% Vidrio	Desviación
M0	Sin vidrio	1 mm
M1	5%	2 mm
M2	10%	2 mm
M3	15%	4 mm
M4	20%	4 mm
M5	25%	8 mm
M6	30%	10 mm
M7	35%	9 mm
M8	40%	12 mm
M9	45%	15 mm
M10	50%	15 mm

Elaboración propia con datos registrados en la prueba

	<p style="text-align: center;">Gráfica 02 Deformación registrada</p>  <p style="text-align: center;">Elaboración propia con datos registrados en la prueba</p> <p>La deformación en las probetas quemadas a 855°C fue nula por lo que no se representa en la gráfica.</p>
Conclusiones	<p>En las probetas quemadas a una temperatura de 855°C no se presentó fase líquida, por lo que no hubo cambio en la forma de las muestras.</p> <p>En comparación con las probetas quemadas a una temperatura de 1140°C, en las que se registró un incremento en la deformación con relación a un mayor porcentaje de vidrio en la muestra.</p> <p>Se observó que la fase líquida presentada en la muestra con 50% de vidrio se fundió y quedó adherido a los postes de cordierita en los que se colocaron las probetas. Fue un cambio significativo comparado con la deformación de la probeta con 45% de vidrio, ya que ambas tocaron el piso de la placa pero esta última no se fundió.</p>
Referencias	<p>¹ Los datos se obtuvieron de la página del proveedor de equipo marca CRESS https://products.cressmfg.com/item/ceramic-kilns/digital-electronic-3/pn-1128-2</p> <p>² Los conos Seger están fabricados con material cerámico que reacciona a una determinada temperatura y establecen los parámetros de las quemas comerciales https://ceramica.fandom.com/wiki/Tabla de conos de Seger</p>

Registro de Prueba de porosidad

Elaboró:	D.I. Jaime Miguel Hernández González	Ensayo:	06
Responsable:	Mtro. José Leandro Mendoza Cuenca	Elaboración:	06/07/2020
Ensayo:	Prueba de porosidad en probetas con polvo de vidrio	Fecha ensayo:	11/12/2019
Tema de investigación:	Aprovechamiento de vidrio recuperado en la fabricación de piezas cerámicas	Tiempo empleado:	5 horas
		Lugar de ensayo:	Taller de vidrio
Objetivos del ensayo	<p>La prueba se realiza para conocer:</p> <p>1) Registrar la cantidad de agua que absorbe y retiene cada probeta. 2) Comparar y analizar si el aumento en el porcentaje de polvo de vidrio en las probetas se relaciona con la cantidad de agua que absorbe.</p>		
Palabras clave Definición de la RAE	<p>Absorber: Dicho de una sustancia sólida o de un líquido: Atraer y retener, respectivamente, un líquido o un gas o vapor. Porosidad: Cualidad de poroso. Poroso: Que tiene poros. Poro: Espacio que hay entre las moléculas de los cuerpos. Intersticio que hay entre las partículas de los sólidos de estructura discontinua.</p>		
Marco conceptual	<p>En general , la porosidad es perjudicial para las propiedades mecánicas y químicas de las cerámicas y es necesario reducirlas al mínimo. Sin embargo para algunas aplicaciones puede ser beneficiosa.</p> <p>La porosidad es el porcentaje del volumen constituido por huecos, de poros abiertos y cerrados. (Sánchez, 2010).</p> <p>Las pastas más porosa son menos resistentes que las densas, de ahí que las paredes de la alfarería y la loza tengan que ser más gruesas para compensar dicha debilidad. Sin embargo las pastas porosas resisten mejor el choque térmico (Vázquez Malagón, 2005).</p> <p>El ensayo se realizó con referencia en la norma UNE-EN ISO 10545-3¹. Se revisó también la Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2005² y la ASTM C67-5³</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>FORMULA PARA DETERMINAR PORCENTAJE DE ABSORCIÓN</p> </div> <div style="text-align: center;"> $\frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$ </div> <div style="text-align: center;"> <p>Pf = Peso Final Pi = Peso inicial</p> </div> </div>		
Equipo	1. Cacerola 2. Parrilla eléctrica 3. Rejilla	4. Toalla 5. Pinzas 6. Báscula	7. Piedra para afilar



Foto 1. Se preparó el equipo y el material para iniciar el ensayo en el taller de vidrio.



Foto 2. Se limaron las protuberancias que pudiesen fracturarse durante la manipulación de las probetas



Foto 3. Se registró el peso de cada una de las 40 probetas que se quemaron a 855°C



Foto 4. Las probetas se acomodaron en la cacerola de acuerdo al orden como se pesaron y se registraron.

Ensayo



Foto 5. Se llenó con agua suficiente para cubrir las probetas y estuvieron en ebullición durante 1 hora.



Foto 6. Cuando el agua comenzó con el punto de ebullición se cronometró una hora para mantener la temperatura.



Foto 7. Durante la hora de ebullición del primer ensayo, se prepararon las probetas quemadas a 1140°C.



Foto 8. Se pesó y se registró cada una de las probetas quemadas a 1140°C. Se acomodaron de acuerdo al registro.

Ensayo



Foto 9. Transcurrida la hora se retiró la cacerola de la parrilla y se procedió a sacar las probetas.



Foto 10. Las probetas se colocaron en la rejilla. Para evitar escurrimientos se colocó una toalla en la mesa.



Foto 11. Se registró el peso de cada una de las probetas, se verificó que no tuviera agua superficial.



Foto 12. Se repitió el proceso con las probetas quemadas a 1140°C.

Se registró el peso de cada probeta y se obtuvo el promedio para cada muestra. Se sumó el valor de las 4 probetas de cada muestra y se dividió para elaborar las tablas y la gráfica de datos.

Peso 1 = Promedio del peso en seco de las 4 probetas de cada muestra antes del ensayo.

Peso 2 = Promedio del peso de las 4 probetas de cada muestra después de 1 hora en agua hirviendo.

% Absorción = $\frac{\text{Peso 2} - \text{Peso 1}}{\text{Peso 1}} \times 100$

Tabla 10 Absorción de agua en probetas quemadas a una temperatura de 855°C

Muestra	% Vidrio	Peso 1	Peso 2	% Absorción
M0	Sin vidrio	14.11	17.39	23.22%
M1	5%	14.95	18.52	23.89%
M2	10%	14.22	17.74	24.79%
M3	15%	15.22	18.73	23.10%
M4	20%	14.42	17.65	22.38%
M5	25%	14.90	17.76	19.23%
M6	30%	16.22	19.08	17.65%
M7	35%	14.62	17.16	17.38%
M8	40%	16.26	18.92	16.36%
M9	45%	18.61	21.16	13.71%
M10	50%	18.39	20.64	12.24%

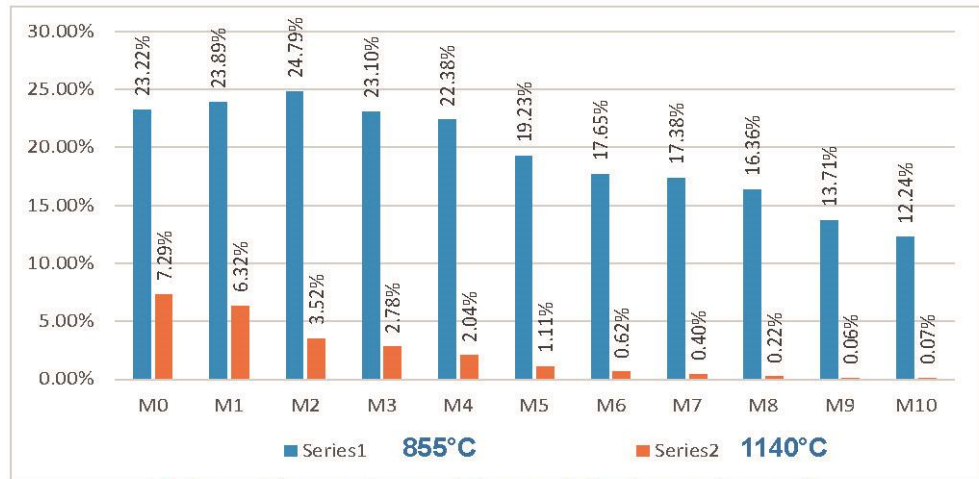
Elaboración propia con datos registrados en la prueba

Datos obtenidos

Muestra	% Vidrio	Peso 1	Peso 2	% Absorción
M0	Sin vidrio	16.05	17.22	7.29%
M1	5%	16.21	17.23	6.32%
M2	10%	16.90	17.50	3.52%
M3	15%	17.29	17.77	2.78%
M4	20%	17.31	17.66	2.04%
M5	25%	17.83	18.03	1.11%
M6	30%	17.62	17.73	0.62%
M7	35%	20.20	20.28	0.40%
M8	40%	18.31	18.35	0.22%
M9	45%	19.85	19.86	0.06%
M10	50%	22.09	22.10	0.07%

Elaboración propia con datos registrados en la prueba

Gráfica 03 Porcentaje de absorción de agua



Elaboración propia con datos registrados en la prueba

Conclusiones

Las probetas con mayor porcentaje de vidrio mostraron una menor absorción de agua.

Los porcentajes menores se reflejaron en las probetas quemadas a una temperatura de 1140°C. La fase líquida presentada formó un cuerpo con menor porosidad pero con un mayor peso.

Referencias

- ¹ Se retoma de la página del *Institut Tecnològic de Lleida (ITL)*, se dedicada a la prestación de servicios tecnológicos avanzados, formación, asesoramiento y difusión de tecnología relacionada con el sector de la construcción y, de manera especial, en el ámbito de los materiales, su comportamiento y el entorno, https://www.construmatica.com/construpedia/AP-004_Determinaci%C3%B3n_de_la_Absorci%C3%B3n_de_Agua_en_Baldosas_Cer%C3%A1micas
- ² 'Industria de la Construcción -Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones- Determinación de la Absorción de agua y absorción inicial de agua.', [en línea], consultado: 21 de junio de 2019, <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/marzo2014/problemas.pdf>
- ³ Se retoma el aspecto de la selección de muestras y procedimiento para el ensayo, [en línea], consultado: 12 de mayo de 2019: <https://es.scribd.com/document/381509838/ASTM-C67>

Registro de Prueba de esfuerzo cortante

Elaboró:	D.I. Jaime Miguel Hernández González	Ensayo:	07
Responsable:	Mtro. Juan Ricardo Alarcón Martínez Arq. Daniel España Aguilar José Reyes Cruz	Elaboración:	06/07/2020
Ensayo:	Prueba de esfuerzo cortante en probetas con polvo de vidrio	Fecha ensayo:	15/01/2020
Tema de investigación:	Aprovechamiento de vidrio recuperado en la fabricación de piezas cerámicas	Tiempo empleado:	2 horas
		Lugar de ensayo:	LITEC UAMX
Objetivos del ensayo	<p>La prueba se realiza para:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Registrar y comparar la resistencia que presenta cada probeta con relación a la cantidad de vidrio que se agregó para su elaboración. 2) Determinar si a mayor cantidad de vidrio hay mayor resistencia. 3) Determinar si las probetas quemadas a 855°C tienen resistencia similar a las quemadas a 1140°C 		
Palabras clave Definición de la RAE	<p>Resistencia: Fuerza que se opone a la acción de otra fuerza. Ruptura: Acción y efecto de romper o romperse. Romperse: Quebrar o hacer pedazos algo. Esfuerzo: Empleo enérgico de la fuerza física contra algún impulso o resistencia. Fuerza: Capacidad para soportar un peso o resistir un empuje. Causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo, o de deformarlo.</p>		
Marco conceptual	<p>La dureza es un aspecto relevante cuando se considera la fricción o el desgaste que se produce en los objetos utilitarios al estar en contacto con otros, ya sea en su uso, manipulación, limpieza o almacenaje. "En general, los esmaltes de alta temperatura, así como las pastas, presentan mayor dureza que los de baja temperatura" (Vázquez Malagón, 2005:24).</p> <p>Los materiales cerámicos estructurales son aquellos materiales que están destinados a soportar esfuerzos mecánicos (Pastor Caño, 1993:1).</p> <p>El comportamiento aparentemente frágil de los materiales cerámicos se caracteriza por tener poca deformación plástica antes de su rotura en tracción (Pastor Caño, 1993:26).</p> <p>Los procesos de fractura, consisten en la propagación de una grieta preexistente o inducida por deformación o por corrosión bajo tensión (Torrecillas, 1988:123).</p> <p>El ensayo se realizó con referencia en la norma ASTM C67-05¹.</p>		
Equipo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penetrómetro 2. Dados 3. Postes 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Flexómetro 5. Cinta masking 6. Lápiz 	<ol style="list-style-type: none"> 7. Libreta



Foto 1. Colocación de dados en máquina



Foto 2. Medida y colocación de postes



Foto 3. Aplicación de fuerza con dado



Foto 4. Se realizó la prueba con las probetas cocinadas a 1140°C.

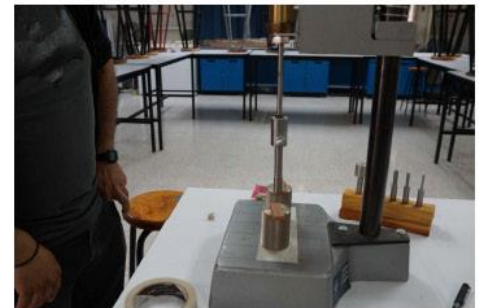


Foto 5. Se registró la medida del momento de ruptura de la probeta.



Foto 6. Se realizó la prueba con las probetas cocinadas a 855°C.



Foto 7. Las probetas cocinadas a 855°C no pudieron registrarse porque la fuerza aplicada era menor a 2 lbs/fuerza

Ensayo

Es importante considerar que los datos obtenidos en las pruebas que se realizan a los materiales de ingeniería se ajustan a la distribución normal², por lo que se debe emplear para el procesamiento y el análisis de los datos la estadística básica. Aunque para este ensayo sólo se trabajará el promedio, ya que no se tienen datos previos para comparar el rendimiento del material.

Se registró el peso de cada probeta y se obtuvo el promedio para cada muestra. Se sumó el valor de las 3 probetas de cada muestra y se dividió entre 3 para elaborar las tablas y la gráfica de datos.

Dato 1 = Registro de libras aplicadas en la primera probeta de la muestra

Dato 2 = Registro de libras aplicadas en la segunda probeta de la muestra

Dato 3 = Registro de libras aplicadas en la tercera probeta de la muestra

$$\bar{x} = \text{Promedio} \quad \frac{(\text{Dato 1} + \text{Dato 2} + \text{Dato 3})}{3}$$

Se realizó la prueba con tres probetas de cada muestra cocinada a 1140°C porque la cuarta es la que se utilizó para la prueba de resistencia a la temperatura.

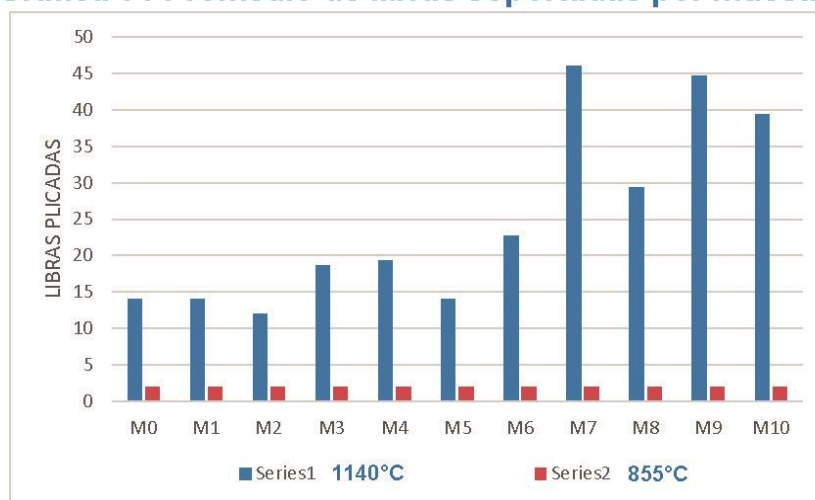
Datos
obtenidos

Muestra	% Vidrio	Dato 1	Dato 2	Dato 3	\bar{x}
M0	0%	15	17	11	14
M1	5%	8	20	14	14
M2	10%	4	14	18	12
M3	15%	14	30	12	19
M4	20%	10	32	16	19
M5	25%	20	10	12	14
M6	30%	16	22	30	23
M7	35%	60	36	42	46
M8	40%	22	36	30	29
M9	45%	38	36	60	45
M10	50%	48	34	36	39

Elaboración propia con datos registrados en la prueba

Se realizó la prueba con tres probetas de cada muestra cocinada a 1140°C porque la cuarta es la que se utilizó para la prueba de resistencia a la temperatura.

Gráfica 04 Promedio de libras soportadas por muestra



Elaboración propia con datos registrados en la prueba

<p>Conclusiones</p>	<p>El vidrio agregado al compuesto y sometido a una cocción de 1140°C promueve el punto de fusión. A una temperatura baja no se pudo comprobar el cambio de dureza debido a la falta de equipo adecuado y a la configuración de las probetas.</p> <p>Se pudo observar que a un aumento de vidrio se registra una mayor dureza.</p>
<p>Referencias</p>	<p>¹ Se retoma del documento <i>Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile</i>. Texto del que se toman en consideración aspectos para realizar la prueba, https://es.scribd.com/document/381509838/ASTM-C67</p> <p>² H. Gallegos V., C. Casabonne R. "Albañilería Estructural", 3ª Ed., Fondo Editorial PUCP, 2005. Se retoma del trabajo de Guillermo Josué Berríos Alvarado y José Heriberto Gómez Bonilla, 2015, pp. 74. En línea http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8652/1/Revisi%C3%B3n%20de%20la%20metodolog%C3%ADa%20de%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20de%20la%20mamposter%C3%ADa%20de%20ladrillo%20de%20barro%20cocido.pdf</p> <p>Berrios Alvarado, Guillermo J., Gómez Bonilla, José H., 2015, Revisión de la metodología de evaluación de la resistencia a la compresión de la mampostería de ladrillo de barro cocido, Universidad de el Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil, San Salvador, El Salvador.</p> <p>Pastor Caño, Jose Y., 1993, Fractura de materiales cerámicos estructurales avanzados, Facultad de ciencias físicas, Departamento de física de materiales Universidad Politécnica de Madrid, España.</p> <p>Vázquez Malagón, Emma, 2005, Materiales Cerámicos, Propiedades, Aplicaciones y Elaboración, Centros de Investigaciones de Diseño Industrial, Facultad de Arquitectura, UNAM, México.</p>