

VIGILANCIA TECNOLÓGICA PROCESOS DE CONFORMACIÓN POR COLAJE DE  
MATERIALES CERÁMICOS

JORGE ALBERTO TRILLOS GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA  
MEDELLÍN  
2016

VIGILANCIA TECNOLÓGICA PROCESOS DE CONFORMACIÓN POR COLAJE DE  
MATERIALES CERÁMICOS

JORGE ALBERTO TRILLOS GONZÁLEZ

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gestión de la  
Innovación Tecnológica

Director

DIEGO CUARTAS

M Sc. en Gestión Tecnológica

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

MEDELLÍN

2016

**Medellín, Abril 8 de 2016**

**Jorge Alberto Trillos González**

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jorge A. Trillos G.', is centered on the page. The signature is written in a cursive, somewhat stylized script.

Firma

---

## **AGRADECIMIENTOS**

A Hernán Zapata Villegas presidente de las empresas EUROCERÁMICA S.A. y SENCO COLOMBIANA S.A. y a Nicolás Durán Peláez Gerente de VINCULO S.A.S. por el apoyo en la realización de este proyecto.

A Diego Cuartas, MSc. en Gestión Tecnológica por su labor como director de proyecto y a los asesores Santiago Betancourt Parra Ph.D. en Ingeniería y Sandra Maria Bedoya Correa, MSc. en Gestión Tecnológica por el aporte de su experticia técnica y metodológica para el desarrollo de este ejercicio.

A todos los colegas y amigos de la industria que han contribuido a mi formación en el campo de la cerámica y me animaron durante el desarrollo de este trabajo.

A mi esposa Mónica por su apoyo, paciencia y comprensión.

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	8
RESUMEN .....	14
INTRODUCCIÓN .....	15
1. PLANEACIÓN DEL EJERCICIO DE VIGILANCIA .....	17
2. BUSQUEDA Y CAPTACIÓN.....	19
2.1. COLAJE TRADICIONAL - slip casting (SC) .....	20
2.2. COLAJE ALTA PRESION - Pressure slip casting (PSC).....	25
2.3. COLAJE CENTRÍFUGO - Centrifugal slip casting (CSC).....	29
2.4. COLAJE EN GEL – Gel casting (GC).....	33
2.5. FORMACIÓN TÉRMICA - Temperature induced forming (TIF) .....	36
2.6. MOLDEO ROTATIVO - In situ coagulation rotary moulding (ICRM).....	39
2.7. COLAJE POR COAGULACIÓN DIRECTA - Direct Coagulation Casting (DCC).....	40
2.8. FORMACIÓN POR HIDRÓLISIS - hydrolysis assisted solidification (HAS) .....	43
2.9. COLAJE POR CONGELACIÓN - Freeze Casting (FC) .....	47
2.10. DEPOSICIÓN ELECTROFORÉTICA - Electrophoretic Deposition (EPD).....	51
2.11. COLAJE EN CINTA - Tape casting (TC) .....	54
2.12. MANUFACTURA ADITIVA - solid free form fabrication (SFF) .....	58
2.13. MOLDEO POR INYECCIÓN - injection moulding (IM).....	64
2.14. EXTRUSIÓN - Extrusion (E) .....	67
2.15. PRENSADO ISOSTÁTICO - isostatic pressing (IP).....	71
2.16. PRENSADO EN SECO - Dry pressing (DP).....	75
3. ANÁLISIS Y ORGANIZACIÓN .....	79
4. INTELIGENCIA.....	82
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD .....	82
4.2. HERRAMIENTAS DE TOMA DE DECISIONES .....	83
4.3. LA MATRIZ DE DECISIÓN .....	83
4.4. HERRAMIENTAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO .....	84
4.5. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) .....	86

4.6.	PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) APLICADO A SELECCIONAR TECNOLOGÍAS CONFORMACIÓN POR COLAJE DE MATERIALES CERÁMICOS .....	89
4.7.	SOFTWARE SUPER DECISIONS.....	91
4.7.1.	SUPER DECISIONS: CONFIGURACIÓN ESTRUCTURA JERÁRQUICA .....	91
4.7.2.	SUPER DECISIONS: EVALUACIÓN PAREADA CRITERIOS .....	92
4.7.3.	SUPER DECISIONS: EVALUACIÓN PAREADA ALTERNATIVAS .....	93
4.7.3.1.	ALTERNATIVAS V.S. INVERSIÓN .....	93
4.7.3.2.	ALTERNATIVAS V.S. COSTOS OPERATIVOS .....	94
4.7.3.3.	ALTERNATIVAS V.S. PROCESOS COMPLEMENTARIOS.....	94
4.7.3.4.	ALTERNATIVAS V.S. IMPACTO AMBIENTAL .....	95
4.7.3.5.	ALTERNATIVAS V.S. SALUD Y SEGURIDAD.....	95
4.7.3.6.	ALTERNATIVAS V.S. DISEÑO DE PRODUCTO .....	96
4.7.3.7.	ALTERNATIVAS V.S. CALIDAD Y RENDIMIENTO .....	96
4.7.3.8.	ALTERNATIVAS V.S. VARIABLES LOGÍSTICAS .....	97
4.7.4.	SUPER DECISIONS: CORRECCIÓN NIVEL INCONSISTENCIAS.....	97
4.7.5.	SUPER DECISIONS: REPORTE RANKING PRIORIZACIÓN ALTERNATIVAS .....	98
5.	Manufactura Aditiva - Solid free form fabrication (SFF) Como TECNOLOGÍA alternativa para CONFORMACIÓN POR COLAJE DE MATERIALES CERÁMICOS .....	99
5.1.	Tipologías de Manufactura Aditiva - Solid free form fabrication (SFF) .....	99
5.1.1.	Aplicación de material a chorro (Material Jetting).....	100
5.1.2.	Extrusión de material (Material Extrusion).....	101
5.1.3.	Deposición por energía dirigida (Directed Energy Deposition).....	106
5.1.4.	Laminación de capas: (Sheet Lamination) .....	107
5.1.5.	Aplicación a chorro de ligante (Binder Jetting- 3D Printing).....	109
5.1.6.	Fusión completa de capa de polvo de un paso (Single-Step powder bed fusion by full melting, Selective Laser Melting).....	114
5.1.7.	Fusión parcial de capa de polvo de un paso (Single-Step powder bed fusion by partial melting) .....	120
5.1.8.	Fusión por sinterización de estado sólido de capa de polvo de un paso (Single-Step powder bed fusion by solid state sintering).....	122
5.1.9.	Fusión de capa de polvo inducida por liga química (Selective Laser Reaction Sintering).....	124
5.1.10.	Fusión parcial de capa de polvo de múltiple paso (Multi-Step powder bed fusion by partial melting) .....	125

5.1.11. Fusión por gelificación de capa suspensión de múltiple paso (Multi-Step powder bed fusion by gelling).....	127
5.1.12. Foto polimerización en cubeta (vat photo polymerization), Estéreo litografía (stereo lithography) .....	128
5.1.13. Deposición Electroforética (Electrophoretic Deposition) .....	132
COMUNICACIÓN: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	135
BIBLIOGRAFÍA .....	136
ANEXO 1 - DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS.....	145
ANEXO 2 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS (INVERSIÓN).....	155
ANEXO 3 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS (COSTOS OPERATIVOS)	162
ANEXO 4 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS (PROCESOS COMPLEMENTARIOS).....	168
ANEXO 5 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS (IMPACTO AMBIENTAL)	175
ANEXO 6 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS (SALUD Y SEGURIDAD)	182
ANEXO 7 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS (DISEÑO DE PRODUCTO) ...	188
ANEXO 8 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS (CALIDAD Y RENDIMIENTO) .....	195
ANEXO 9 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS (VARIABLES LOGÍSTICAS)...	200

## LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 . Esquema proceso colaje - Slip Casting (SC).....	20
Ilustración 2. Slip Casting (SC) Tendencia publicaciones.....	22
Ilustración 3. Slip Casting (SC) Principales Autores.....	23
Ilustración 4. Slip Casting (SC) Principales Instituciones.....	24
Ilustración 5. Slip Casting (SC) Principales Países. ....	24
Ilustración 6. Esquema proceso colaje alta presión - Pressure slip casting (PSC) .....	25
Ilustración 7. Máquina de alta presión para colaje de lavamanos .....	26
Ilustración 8. Pressure slip casting (PSC) Tendencia publicaciones. ....	27
Ilustración 9. Pressure slip casting (PSC) Principales Autores. ....	28
Ilustración 10. Pressure slip casting (PSC) Principales Instituciones.....	28
Ilustración 11. Pressure slip casting (PSC) Principales Países. ....	29
Ilustración 12 . Esquema proceso colaje centrífugo Centrifugal slip casting (CSC) .....	30
Ilustración 13. centrífugal slip casting (CSC) Tendencia publicaciones.....	31
Ilustración 14. Centrifugal slip casting (CSC) Principales Autores. ....	31
Ilustración 15. Centrifugal slip casting (CSC) Principales Instituciones.....	32
Ilustración 16. Centrifugal slip casting (CSC) Principales Países.....	32
Ilustración 17. Esquema proceso COLAJE EN GEL - Gel casting (GC).....	33
Ilustración 18. gelcasting (GC) Tendencia publicaciones.....	34
Ilustración 19. gelcasting (GC) Principales Autores.....	35
Ilustración 20. gelcasting (GC) Principales Países. ....	35
Ilustración 21. gelcasting (GC) Principales Instituciones.....	36

Ilustración 22. Esquema proceso FORMACIÓN TÉRMICA -Temperature induced forming (TIF).....	37
Ilustración 23. Temperature induced forming (TIF) Tendencia publicaciones.....	37
Ilustración 24. Temperature induced forming (TIF) Principales Autores.....	38
Ilustración 25. Temperature induced forming (TIF) Principales Instituciones.....	38
Ilustración 26. Temperature induced forming (TIF) Principales Países. ....	39
Ilustración 27. Máquina Piloto y Molde para MOLDEO ROTATIVO - In situ coagulation rotary moulding (ICRM) .....	40
Ilustración 28. Esquema proceso .....	41
Ilustración 29. Direct Coagulation Casting (DCC) Tendencia publicaciones.....	41
Ilustración 30. Direct Coagulation Casting (DCC) Principales Instituciones.....	42
Ilustración 31. Direct Coagulation Casting (DCC) Principales Países. ....	43
Ilustración 32. Esquema proceso .....	44
Ilustración 33. Hydrolysis assisted solidification (HAS) Tendencia publicaciones. ....	45
Ilustración 34. Hydrolysis assisted solidification (HAS) Principales Autores. ....	45
Ilustración 35. Hydrolysis assisted solidification (HAS) Principales Instituciones. ....	46
Ilustración 36. Hydrolysis assisted solidification (HAS) Principales Países.....	46
Ilustración 37. Esquema proceso COLAJE POR CONGELACIÓN - Freeze Casting (FC)..	47
Ilustración 38. Esquema proceso DEPOSICIÓN ELECTROFORÉTICA - Electrophoretic Deposition (EPD).....	51
Ilustración 39. Electrophoretic Deposition (EPD) Tendencia publicaciones.....	52
Ilustración 40. Electrophoretic Deposition (EPD) Principales Autores.....	53
Ilustración 41. Electrophoretic Deposition (EPD) Principales Instituciones.....	53
Ilustración 42. Electrophoretic Deposition (EPD) Principales Países.....	54
Ilustración 43. Esquema del equipo COLAJE EN CINTA - Tape casting (TC) .....	55
Ilustración 44. Tape casting (TC) Tendencia publicaciones. ....	55

Ilustración 45. Tape casting (TC) Principales Autores.....	56
Ilustración 46. Tape casting (TC) Principales Instituciones.....	56
Ilustración 47. Tape casting (TC) Principales Países.....	57
Ilustración 48. Esquema del equipo IMPRESIÓN 3D - solid free form fabrication (SFF).....	59
Ilustración 49. Solid free form fabrication (SFF) Tendencia publicaciones.....	60
Ilustración 50. Solid free form fabrication (SFF) Principales Autores.....	60
Ilustración 51. Solid free form fabrication (SFF) Principales Instituciones.....	61
Ilustración 52. Solid free form fabrication (SFF) Principales Países.....	61
Ilustración 53. 3D Printing (3DP) Tendencia publicaciones.....	62
Ilustración 54. 3D Printing (3DP) Principales Autores.....	62
Ilustración 55. 3D Printing (3DP) Principales Instituciones.....	63
Ilustración 56. 3D Printing (3DP) Principales Países.....	63
Ilustración 57. Esquema del equipo MOLDEO POR INYECCIÓN - injection moulding (IM)	64
Ilustración 58. Esquema del equipo EXTRUSIÓN - Extrusion (E).....	68
Ilustración 59. Extrusion (E) Tendencia publicaciones.....	69
Ilustración 60. Extrusion (E) Principales Autores.....	70
Ilustración 61. Extrusion (E) Principales Instituciones.....	70
Ilustración 62. Extrusion (E) Principales Países.....	71
Ilustración 63. Esquema del equipo PRENSADO ISOSTÁTICO - isostatic pressing (IP)....	72
Ilustración 64. Isostatic pressing (IP) Tendencia publicaciones.....	73
Ilustración 65. Isostatic pressing (IP) Principales Autores.....	74
Ilustración 66. Isostatic pressing (IP) Principales Instituciones.....	74
Ilustración 67. Isostatic pressing (IP) Principales Países.....	75
Ilustración 68. Esquema del equipo PRENSADO EN SECO - Dry pressing (DP).....	76

Ilustración 69. Dry pressing (DP) Tendencia publicaciones. ....	76
Ilustración 70. Dry pressing (DP) Principales Autores.....	77
Ilustración 71. Dry pressing (DP) Principales Instituciones. ....	78
Ilustración 72. Dry pressing (DP) Principales Países.....	78
Ilustración 73. Ejemplo Matriz de Decisión.....	84
Ilustración 74. Ejemplo Proceso Analítico Jerárquico – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP), Comparación cualitativa áreas figuras geométricas. ....	88
Ilustración 75. Proceso Analítico Jerárquico – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP), Esquema Genérico de estructuración de un problema. ....	89
Ilustración 76. Ventana principal de diseño Super Decisions .....	92
Ilustración 77. Reporte final Super Decisions (modelo).....	92
Ilustración 78. Ventana Asses/Compare Super Decisions CRITERIOS vs. OBJETIVO .....	93
Ilustración 79. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. INVERSIÓN .....	93
Ilustración 80. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. COSTOS OPERATIVOS .....	94
Ilustración 81. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. PROCESOS COMPLEMENTARIOS .....	94
Ilustración 82. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. IMPACTO AMBIENTAL .....	95
Ilustración 83. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. SALUD Y SEGURIDAD .....	95
Ilustración 84. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. DISEÑO DE PRODUCTO .....	96
Ilustración 85. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. CALIDAD Y RENDIMIENTO .....	96
Ilustración 86. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. VARIABLES LOGÍSTICAS .....	97

Ilustración 87. Ventana Asses/Compare Super Decisions Inconsistency Report .....	97
Ilustración 88. Reporte Final Super Decisions Ranking Alternativas .....	98
Ilustración 89. Procesos de Manufactura Aditiva de Cerámica. ....	99
Ilustración 90. Prototipos de Griferías HELVEX de México por impresión a chorro. ....	101
Ilustración 91. Impresora a chorro de escritorio Makerbot. ....	102
Ilustración 92. Filtro cerámico fabricado por Robocasting. ....	103
Ilustración 93. Impresora por extrusión de arcilla. ....	103
Ilustración 94. Fabricación de piezas cerámicas por extrusión 3D. ....	105
Ilustración 95. Fabricación de piezas cerámicas por extrusión 3D. ....	105
Ilustración 96. Sistema deposición por energía dirigida. ....	107
Ilustración 97. Esquema fabricación por laminación.....	108
Ilustración 98. Objeto en porcelana fabricado por Aplicación a Chorro de ligante. ....	110
Ilustración 99. Objeto fabricado por Aplicación a Chorro de ligante. Diseño Carl Bass. ....	111
Ilustración 100. Esquema del sistema robotizado para producción de moldes de arena. .	112
Ilustración 101. Ejemplo molde de arena para vaciado de silla en aluminio. ....	113
Ilustración 102. Esquema de un sistema láser para sinterización o fusión selectiva.....	113
Ilustración 103. Tipos y subtipos de los mecanismos de sinterización o fusión.....	114
Ilustración 104. Equipo de fabricación por fusión láser de SLM Solutions. ....	116
Ilustración 105. Pieza metálica de alta complejidad fabricada por fusión láser. ....	117
Ilustración 106. Pieza metálica automotriz fabricada por fusión láser.....	118
Ilustración 107. Esquema Tecnología Electron Beam Melting (EBM).....	119
Ilustración 108. Equipo Selective Laser Sintering de la compañía BINHU. ....	120
Ilustración 109. Esquema deposición polvos por Cuchilla Anular (Ring Doctor Blade).....	121
Ilustración 110. Lámparas fabricadas con la tecnología de EOS. Diseño Assa Ashuach..	123

Ilustración 111. Tipología piezas obtenidas por sinterización en estado sólido.....	124
Ilustración 112. Esquema fenómeno de fusión parcial. ....	125
Ilustración 113. Piezas cerámicas por el proceso ADMAFLEX de ADMATEC. ....	129
Ilustración 114. Piezas cerámicas por el proceso 3D CERAM. ....	130
Ilustración 115. Ejemplo piezas cerámica fabricada por en impresora LITHOZ CeraFab 7500.....	130
Ilustración 116. Esquema tecnología Continuous Liquid Interface Production (CLIP). ....	131
Ilustración 117. Contenedor de Vidrio modelado en impresión 3D, Vladimirsky Center for Glassware and Containers. ....	132
Ilustración 118. Esquema deposición electroforética con electrodo móvil.....	133
Ilustración 119. Esquema deposición electroforética dirigida por luz.....	133

## RESUMEN

En este trabajo se desarrolla la vigilancia tecnológica sobre PROCESOS DE CONFORMACIÓN POR COLAJE DE MATERIALES CERÁMICOS en la cual:

Se presenta la propuesta de planeación de la vigilancia, se desarrolla una búsqueda y captación de información donde se identifican y describen 16 tecnologías aplicadas en el campo de la cerámica técnica.

Para efectos de analizar, organizar y desarrollar un proceso de inteligencia sobre la información se exponen las alternativas metodológicas para la toma de decisión multi criterio disponibles y se aplica el PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) mediante la herramientas de software SUPER DECISIONS, evaluando las 16 alternativas respecto a 8 criterios (inversión, costos operativos, procesos complementarios, impacto ambiental, salud y seguridad, diseño de producto, calidad y rendimiento, variables logísticas), permitiendo seleccionar como mejor alternativa la tecnología Solid Free Form Fabrication (SFF), por lo que para esta tecnología se identifican y describen tipologías específicas, se hace una búsqueda de patentes y aplicaciones comerciales en procesos de manufactura, bien sea aplicado a la cerámica tradicional o en otras industrias similares.

Finalmente se comunican las conclusiones y recomendaciones para continuar analizando un posible desarrollo tecnológico con dicha tecnología.

**PALABRAS CLAVE:** Cerámica, colaje, colaje alta presión, colaje centrífugo, colaje en gel, formación térmica, moldeo rotativo, colaje por coagulación directa, formación por hidrólisis, colaje por congelación, deposición electroforética, colaje en cinta, manufactura aditiva, moldeo por inyección, extrusión, prensado isostático, prensado en seco, decisión multicriterio, proceso analítico jerárquico.

**Ceramics, Slip casting, pressure slip casting, centrifugal slip casting, gel casting, temperature induced forming, in situ coagulation rotary moulding, direct coagulation casting, hydrolysis assisted solidification, freeze casting, electrophoretic deposition, tape casting, solid free forming, injection molding, extrusion, isostatic pressing, dry pressing, multi criteria decision making, analytic hierarchy process.**

## INTRODUCCIÓN

En la manufactura es común encontrar tecnologías consideradas como el estándar de la industria, para las que su evolución se desarrolla concentrándose en el mejoramiento continuo y la optimización incremental de las mismas, sin cuestionar sus fundamentos por el riesgo de generar obsolescencia en equipos y entrenamiento del personal y la consecuente pérdida de la inversión en los mismos. Esta situación genera la posibilidad de que algún competidor, posiblemente más pequeño y con menor compromiso de inversión, logra replantear el paradigma tecnológico de la industria, generando ventajas competitivas ya sea en productividad o en el valor percibido de sus productos en el mercado, en lo que se conoce como innovación de ruptura o disruptiva (Castells & Valls Pasola, 2009).

Este escenario es aplicable en la industria de la cerámica tradicional fabricante de vajillas y porcelana sanitaria a la tecnología de conformación de piezas por colaje de suspensiones en moldes de yeso (slip casting), que pese a considerarse una tecnología madura, presenta problemas que afectan la productividad, generan impacto ambiental, afectan la salud ocupacional, reducen la calidad y limitan el diseño de los productos fabricados. Este trabajo parte de la hipótesis de que en la cerámica técnica para producir elementos para aplicaciones de alta tecnología a partir de materiales sintéticos, se han desarrollado tecnologías novedosas de conformación de piezas entre las cuales tendrían potencial de transferirse a la cerámica tradicional para generar una innovación disruptiva que al corregir problemas que presentan las técnicas tradicionales genere ventajas competitivas para una empresa perteneciente a esta industria.

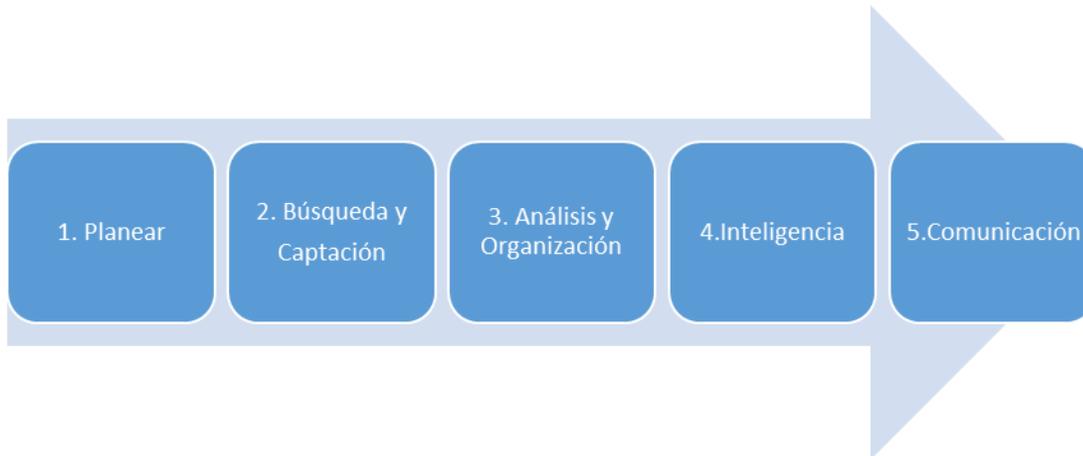
Se plantea como objetivo general:

- Desarrollar la vigilancia tecnológica sobre procesos de conformación de producto por colaje de materiales cerámicos para identificar direcciones de desarrollo tecnológico aplicables a la cerámica tradicional.

Y como objetivos específicos:

- Revisar mediante vigilancia tecnológica el estado del arte actual para los procesos de conformación por colaje en la industria cerámica.
- Identificar tendencias de evolución en el tiempo para las tecnologías de colaje en la industria cerámica en general
- Analizar para cada tecnología sus características y categorizarlas según sus potenciales ventajas y desventajas para ser aplicada en la industria de los productos cerámicos tradicionales en una empresa de nuestro medio.

Como metodología se propone desarrollar el ejercicio de Vigilancia en los siguientes pasos:



- Planear: Definir los factores críticos de vigilancia, establecer las preguntas clave, construir micro cultura y la estrategia de tratamiento de la información.
- Búsqueda y Captación: Consultar bases de datos académicas y comerciales sobre tecnología para la industria de la cerámica, recopilando información sobre el estado del arte en procesos de conformación por colaje, tanto en la cerámica tradicional, como en la cerámica técnica, cubriendo el desarrollo a nivel mundial.
- Análisis y Organización: Aplicar a los resultados de la búsqueda, herramientas de análisis que permitan identificar patrones, tendencias, instituciones y autores clave en el desarrollo de las tecnologías.
- Inteligencia: Clasificar las tecnologías según su potencial de aplicación industrial para fabricar los productos cerámicos tradicionales, analizando sus ventajas y desventajas en términos de factores como el impacto sobre costos de producción y el incremento en el valor percibido en el mercado para los productos.
- Comunicación: Reportar los resultados y proponer recomendaciones sobre direcciones de desarrollo tecnológico más atractivas para este tipo de tecnología para aplicarlas y generar ventajas competitivas en una compañía en la industria cerámica tradicional de nuestro medio, estableciendo criterios de decisión para definir los proyectos de I + D + i a desarrollar.

## 1. PLANEACIÓN DEL EJERCICIO DE VIGILANCIA

Para planear el ejercicio de vigilancia se plantean las siguientes preguntas donde se define el alcance del ejercicio:

¿Cuál es el tema?

Tecnologías de conformación por colaje de materiales cerámicos

¿Por qué?

Se quiere identificar las direcciones de desarrollo tecnológico, tanto en cerámica tradicional como avanzada y sus ventajas potenciales frente a las limitaciones identificadas para las tecnologías de colaje usadas en la industria cerámica tradicional.

¿Para qué?

Para orientar la estrategia de innovación en una compañía local, generando proyectos de I + D + i que le permitan implementar nuevos procesos y ganar competitividad.

¿Cuál es el objeto de la vigilancia?

Identificar oportunidad para innovar en procesos de fabricación de piezas en el contexto de la industria de cerámica tradicional, para ganar competitividad.

¿Qué debemos vigilar? ¿Qué información buscar?

Tecnologías emergentes para formación de piezas cerámicas en la industria de la cerámica tradicional, en otras empresas en cualquier geografía.

Tecnologías emergentes o maduras, para formación de piezas cerámicas en la industria de la cerámica avanzada, que tengan ventajas potenciales como posibles sustitutos a las usadas hoy en la cerámica tradicional.

¿Para quién? ¿A quién comunicar la información en la empresa?

EUROCERÁMICA S.A. y SENCO S.A.: Presidencia, Gerencias Técnicas, Jefatura de Innovación, Técnicos Ceramistas. Con el fin de usar los resultados de la vigilancia para orientar sus mapas de ruta tecnológicos y la identificación y selección de proveedores.

VÍNCULO S.A.: Dirección de Innovación, para identificar oportunidades de generación de proyectos de innovación a ejecutar.

UPB: Director y Jurados de Trabajo de Grado, con el fin de evaluarlo como requisito para otorgar el título de especialista a Jorge Trillos. Investigadores del grupo GINUMA, en el contexto de la formulación de posibles proyectos para el desarrollo de tecnologías de procesos. Sujeto a acuerdos de confidencialidad con las compañías.

¿Dónde localizar la información?

Artículos de investigación

Patentes

Información comercial de proveedores de tecnología para la industria

¿Cómo tratar y organizar la información?

Tendencias históricas de artículos y patentes en el rango de los últimos 15 años.

Concentración geográfica, por institución o por empresa de artículos y patentes en el rango de los últimos 15 años.

Análisis de frecuencia de palabras claves

¿Cómo promover la participación de todo el personal?

Durante la ejecución de la vigilancia no se requiere ni es conveniente una amplia divulgación entre el personal de la compañía, con el objeto de mantener reserva de las intenciones estratégicas ante competidores locales. La comunicación de avances se hará directamente a la presidencia de la compañía y de ser necesario a un grupo de personal técnico designado por esta como expertos con el fin de orientar el trabajo de vigilancia y preparar la formulación de los proyectos de investigación derivados de la misma.

¿Qué recursos vamos a destinar?

Vigía (Jefatura Innovación Euro EUROCERÁMICA S.A.: Jorge Trillos).

Acceso a bases de datos académicas (UPB Especialización GIT).

Acceso directo a Expertos (Empresas del sector cerámico).

Estrategia de Comunicación:

Trabajo de Grado escrito.

Base de datos bitácora vigilancia.

Colección de Artículos.

Estrategia Protección de la información:

Cláusulas confidencialidad contrato de trabajo empleados EUROCERÁMICA S.A.

Acuerdo y cláusulas confidencialidad Convenio Marco UPB con empresas grupo EUROCERÁMICA S.A.

## 2. BUSQUEDA Y CAPTACIÓN

En este capítulo se describen 16 tipos de tecnologías aplicadas para la conformación de materiales cerámicos, las cuales fueron seleccionadas partiendo de su mayor frecuencia de mención encontrada al analizar una muestra de 234 documentos extractados en bases de datos académicas y comerciales, según muestra en la tabla:

**Tabla 1. Frecuencia de Mención Tecnologías de Formación Cerámica**

<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de PROCESO UNIFICADO</b>	<b>Cuenta de PROCESO UNIFICADO<sup>2</sup></b>
Gel casting (GC)	96	12,80%
Slip Casting (SC)	59	7,87%
Direct Coagulation Casting (DCC)	43	5,73%
Freeze Casting (FC)	42	5,60%
Injection Molding (IM)	41	5,47%
Solid Free Form Fabrication (SFF)	41	5,47%
Pressure Slip Casting (PSC)	32	4,27%
Tape Casting (TC)	25	3,33%
Hydrolysis Assisted Solidification (HAS)	21	2,80%
Temperature Induced Forming (TIF)	19	2,53%
Electrophoretic Deposition (EPD)	18	2,40%
Centrifugal Slip Casting (CSC)	16	2,13%
Isostatic Pressing (IP)	14	1,87%
Dry pressing (DP)	11	1,47%
Extrusion (E)	10	1,33%
In situ Coagulation Rotary Molding (ICRM)	2	0,26%

## 2.1. COLAJE TRADICIONAL - slip casting (SC)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde de escayola porosa una suspensión de materiales cerámicos en agua, por el fenómeno de capilaridad el agua migra de la suspensión hacia las paredes del molde, ocasionando que se depositen las partículas sobre la superficie del mismo, formando una pared sólida. Una vez obtenido el espesor deseado el excedente de la suspensión se drena y se separan las partes del molde para extraer la pieza formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Asthana, Kumar, & Dahotre, 2006; Licciulli, 2005; Swerea IVF, 2013)

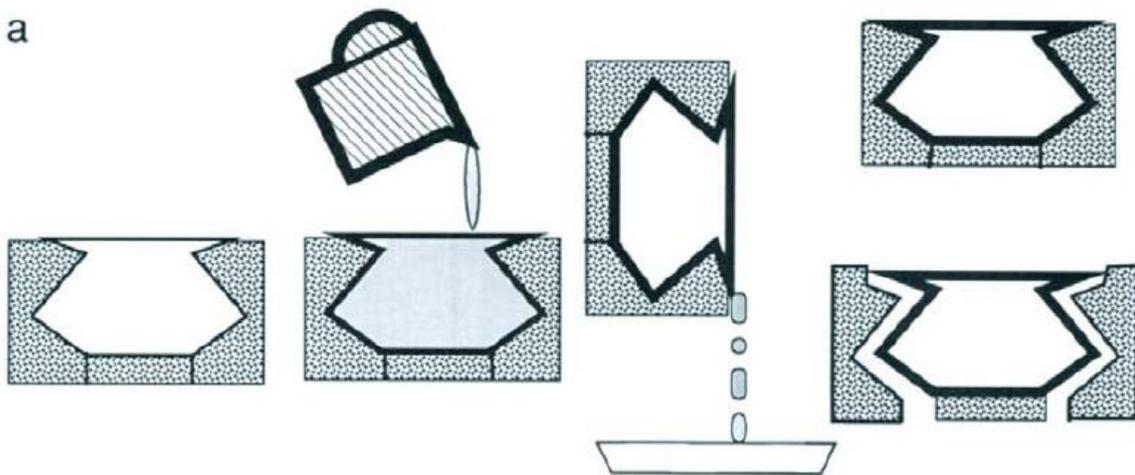


Ilustración 1 . Esquema proceso colaje - Slip Casting (SC)

Fuente: (Ring, 1996).

En la industria cerámica tradicional es la tecnología más difundida es la de conformación fundamentalmente en la fabricación de vajillas y piezas de porcelana sanitaria para baños. Los orígenes de esta tecnología en occidente se remontan al siglo XVII en Francia, siendo posteriormente implementada a escala industrial en Inglaterra (Haggar, 1952). Evidencia arqueológica sugiere que esta misma tecnología se desarrolló paralelamente por las culturas precolombinas en Perú (Dawson, 1964).

Según lo observado en la industria y algunos autores, se evidencia que esta tecnología permite la fabricación de formas complejas, de composición homogénea y con un relativo bajo costo de inversión en maquinaria (Licciulli, 2005; Swerea IVF, 2013). Sin embargo, presenta también diversos problemas como son:

En la productividad:

- Baja productividad de mano de obra y equipos, por el tiempo de formación de las piezas, tiempos muertos inherentes a la operación.
- La producción a gran escala requiere muchos moldes operando en paralelo por lo prolongado de los tiempos de formación de las piezas dentro del molde, demandando a su vez grandes áreas de producción y largos desplazamientos del operario para atender simultáneamente un gran número de moldes.
- La saturación de los moldes con la humedad extraída de la suspensión limita el número de ciclos consecutivos en los que estos pueden operar, requiriendo etapas de recuperación por secado o inyección de aire a presión para extraer dicha humedad, lo que introduce tiempos muertos en el ciclo de producción e incrementa la complejidad del diseño y el costo de los moldes.
- Los cambios de moldura al término de la vida útil son dispendiosos y generan tiempos muertos en la operación.

En seguridad y salud ocupacional:

- Los moldes de yeso, al absorber la humedad en su propia masa, son pesados y difíciles de manipular para las piezas de mayor tamaño, generando riesgos de salud ocupacional por cargas ergonómicas o requiriendo implementar ayudas mecánicas.

En impacto ambiental:

- Los moldes de yeso se desgastan con el uso, variando las dimensiones de las piezas, por lo que es necesario desecharlos al término de su vida útil o cuando se rompen por manipulación durante el proceso.
- Los moldes de yeso desechados son un residuo sólido que se requiere disponer o reciclar adecuadamente.
- El secado tanto de moldes como de producto consume combustibles incrementando la huella de carbono.
- El agua de la suspensión utilizada en proceso se evapora sin reciclarse incrementando la huella hídrica.

En el diseño del producto obtenido:

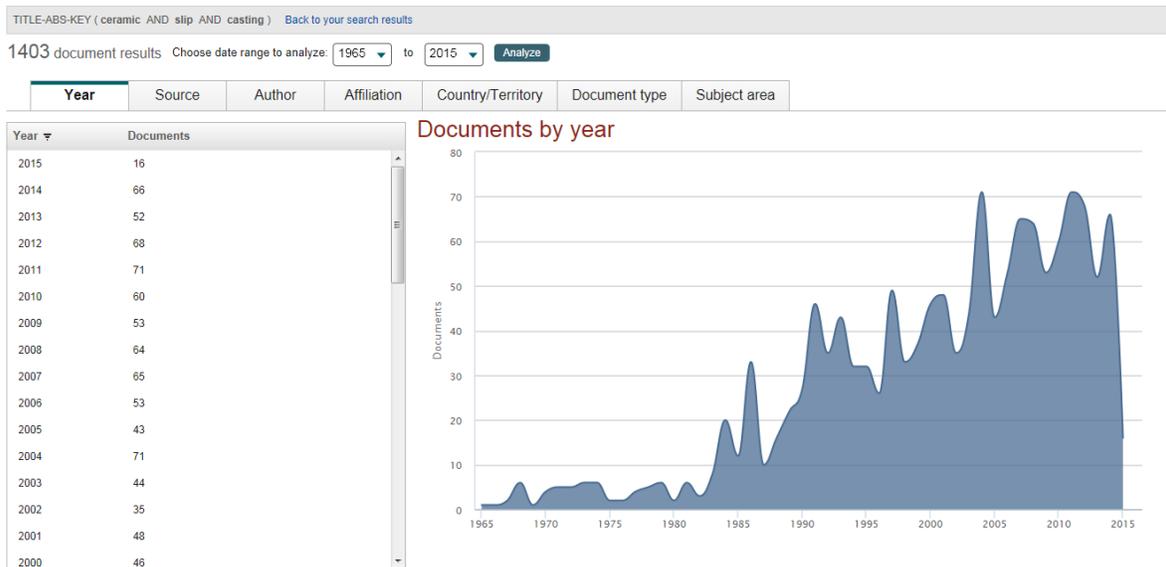
- Se presentan limitaciones en el diseño a fabricar, debido a ser resultado de la formación de material sólido en las paredes del molde, lo que se refleja sobre la estética y valor percibidos por los consumidores.

- Menor precisión dimensional frente a la obtenida con otros métodos.

En la calidad y costo de fabricación:

- El estado plástico en que se encuentran las piezas al salir de los moldes, aunque facilita ejecutar operaciones de acabado, promueve la generación defectos por su manipulación y dificulta la mecanización del proceso.
- Se presentan diferenciales de contracción por los gradientes de densidad y de humedad originados durante la migración del agua hacia las paredes del molde, resultando defectos como grietas que reducen el rendimiento de la manufactura.
- La fragilidad del material colado impide reducir el espesor de las paredes formadas incrementando el consumo de materias primas.

En lo referente al desarrollo científico alrededor de esta tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND slip AND casting) muestra que a pesar de ser una tecnología madura, presenta una tendencia creciente en el número de publicaciones disponibles, debido más a la facilidad de aplicación de la tecnología para la producción de elementos que a nuevos desarrollos sobre la misma:

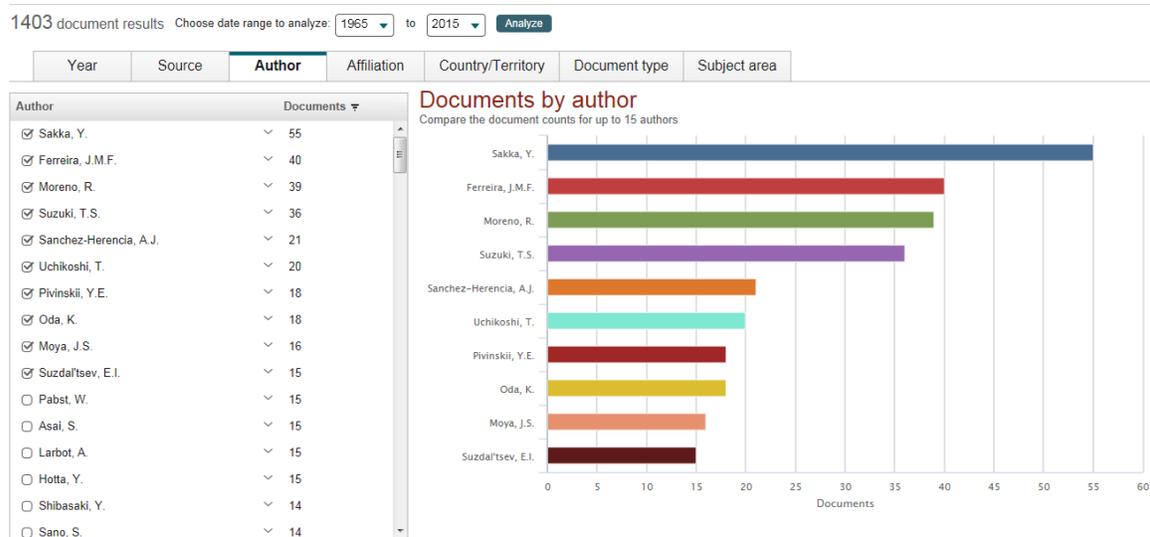


**Ilustración 2. Slip Casting (SC) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

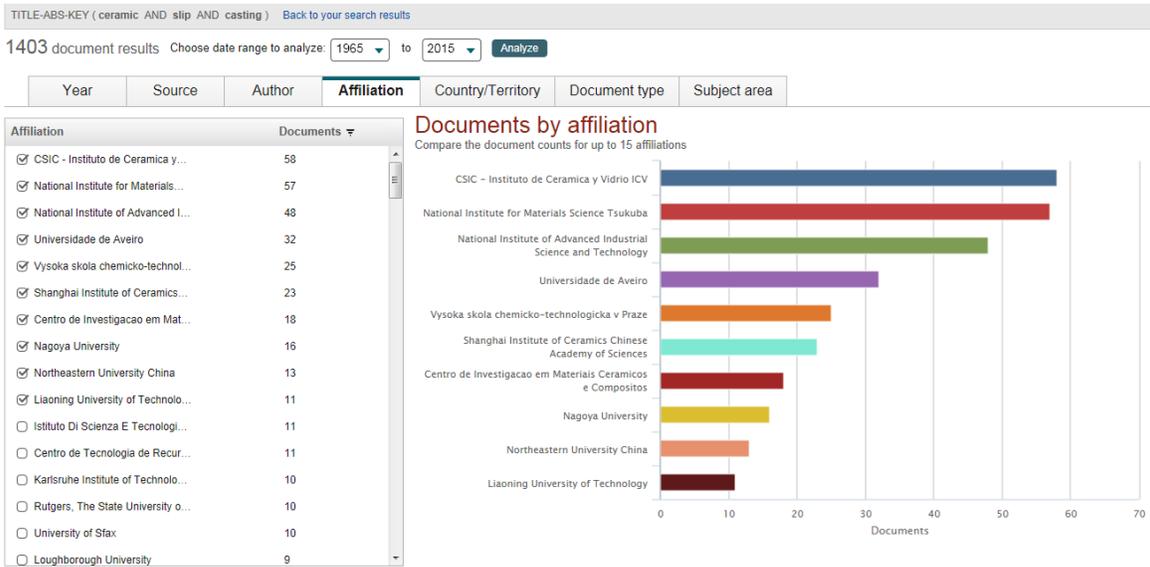
Siendo los autores con más publicaciones:

- Sakka, Yoshio, National Institute for Materials Science Tsukuba, Materials Processing Unit, Tsukuba, Japan. Centrado en investigar la aplicación de campos magnéticos durante el proceso para modificar la microestructura y las propiedades superficiales de los materiales.
- Ferreira, J. M. F. Centro de Investigacao em Materiais Ceramicos e Compositos, Department of Materials and Ceramic Engineering, Aveiro, Portugal. Especialmente en el procesamiento de SiAlON y otros materiales.
- Moreno, Rodrigo, CSIC - Instituto de Ceramica y Vidrio (ICV), Madrid, Spain. Principalmente relacionados con el procesamiento de dióxido de titanio.



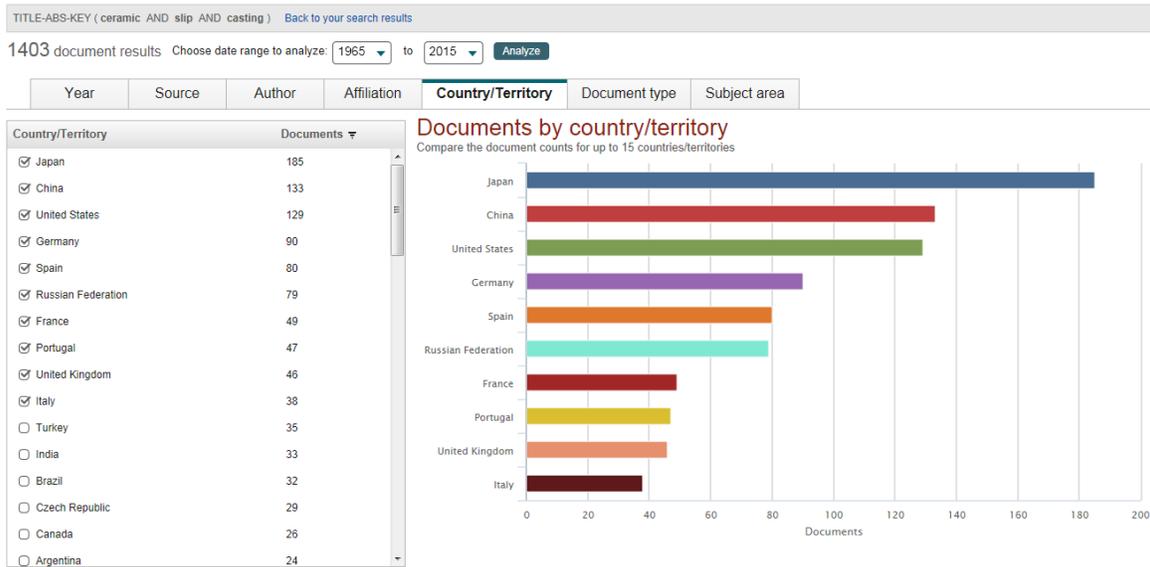
**Ilustración 3. Slip Casting (SC) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 4. Slip Casting (SC) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 5. Slip Casting (SC) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## 2.2. COLAJE ALTA PRESION - Pressure slip casting (PSC)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde de resina sintética porosa una suspensión de materiales cerámicos en agua, aplicando presión en el interior de la cavidad del molde y vacío en la parte externa el agua se extrae de la suspensión hacia las paredes del molde, ocasionando que se depositen las partículas sobre la superficie del mismo, formando así una pared sólida. Una vez obtenido el espesor deseado el excedente de la suspensión se drena y se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Evans, 2008; Schafföner & Aneziris, 2012)

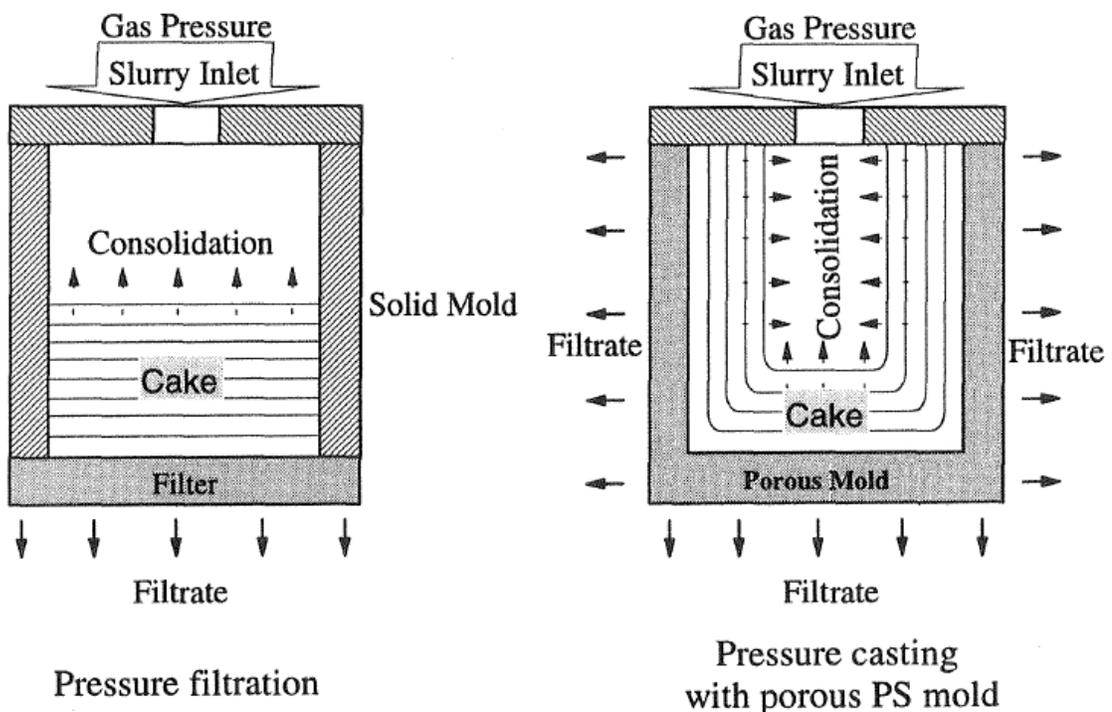


Ilustración 6. Esquema proceso colaje alta presión - Pressure slip casting (PSC)

Fuente: (Pfeifer, Wang, & Eyerer, 1999)

Desde inicios de los años 90, con el fin subsanar algunos de los problemas planteados del colaje en moldes de yeso, los proveedores de tecnología para la industria han concentrado sus esfuerzos en el diseño de equipos para la

mecanización y automatización de los procesos de colaje usando moldes de yeso y en el desarrollo de la tecnología de colaje a alta presión (Mazzanti, 2008), la cual en Colombia ha sido adoptada en las plantas del grupo Corona, en esta tecnología la suspensión cerámica se inyecta al molde a presiones de hasta 40 bar, así el líquido ya no se retira sólo por la presión capilar de los poros del molde sino por un real efecto de filtración sobre las paredes del molde. El uso de presión por encima de la ambiental supera la resistencia de los moldes de yeso y requiere sustituirlos por moldes en resina sintética micro porosa (SACMI, 2013b), con este desarrollo se logran mejoras en el proceso (Kaiser, van Loo, Kraus, & Hadjuck, 2009), algunas de las cuales son:

- Incremento de productividad por reducción de tiempos de ciclo de producción.
- Mejora calidad por la mayor resistencia mecánica en crudo al formar las piezas a alta presión.
- Mínimo desgaste superficial de los moldes lo que mantiene la estabilidad dimensional.
- Larga vida útil del molde, del orden de decenas de miles de ciclos.
- Fácil recuperación del molde en cada ciclo por eliminación del agua retenida mediante aire a presión.



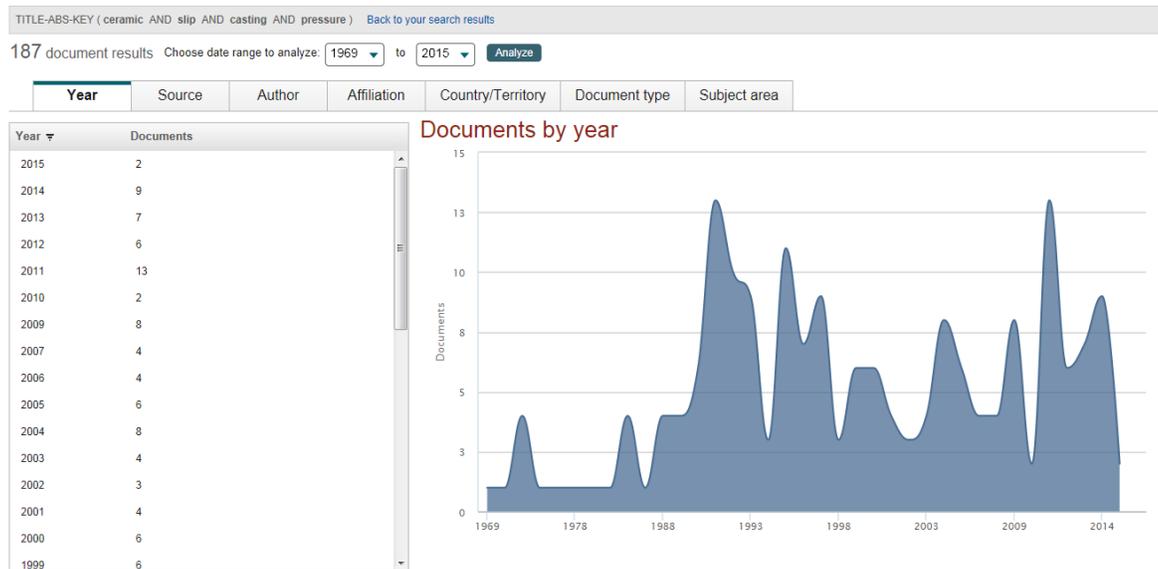
**Ilustración 7.** Máquina de alta presión para colaje de lavamanos

Fuente: (SACMI, 2013a)

Sin embargo, la tecnología tiene como limitaciones:

- Alta inversión de capital en las máquinas.
- El costo del molde en resina, muy superior al de los moldes en yeso, implica que este sólo puede ser amortizado fabricando un gran número de piezas en el mismo diseño durante un período largo de tiempo.
- Los moldes de resina micro porosa requieren procesos de lavado con ácidos para mantener sus propiedades en el tiempo, lo que implica riesgos ambientales y de salud ocupacional.

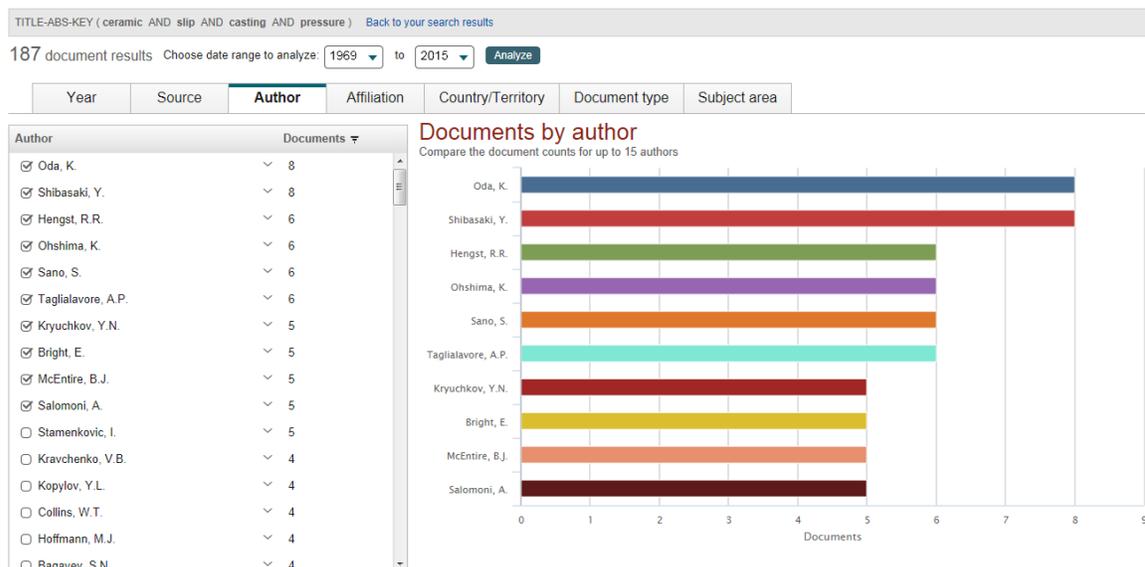
En lo referente al desarrollo científico alrededor de la tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND slip AND casting AND pressure) no muestra una tendencia definida en el número de publicaciones.



**Ilustración 8. Pressure slip casting (PSC) Tendencia publicaciones.**

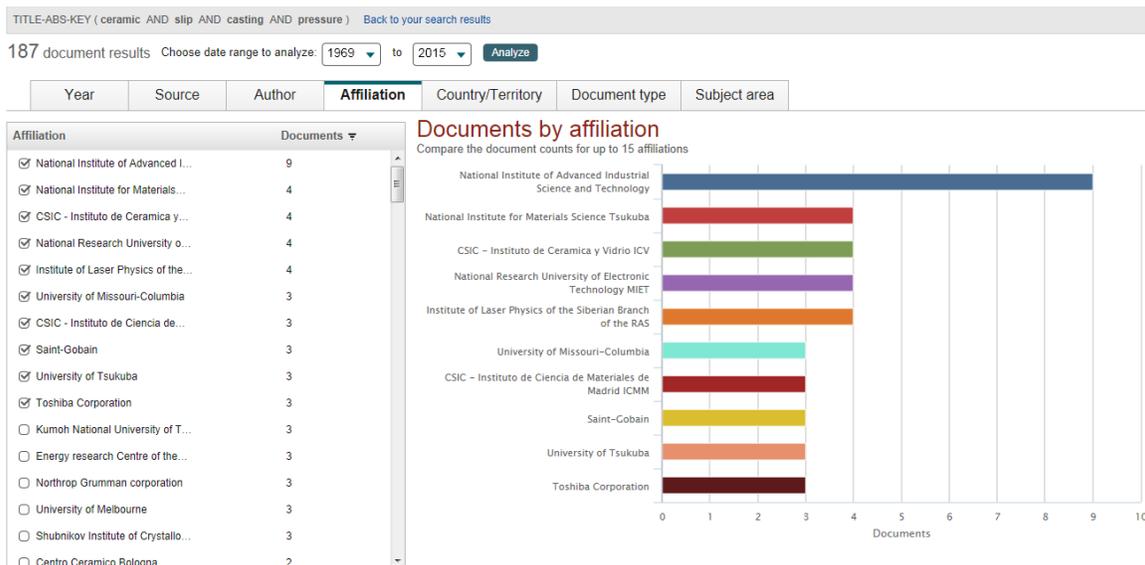
**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

Los artículos de Oda, K. y Shibasaki, Y. Del National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Materials Research Institute for Sustainable Development, Tokyo, Japan, están relacionados con el procesamiento por esta técnica de Nitruro de Silicio y la obtención de densidades uniformes modificando la presión aplicada en el tiempo.



**Ilustración 9. Pressure slip casting (PSC) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 10. Pressure slip casting (PSC) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

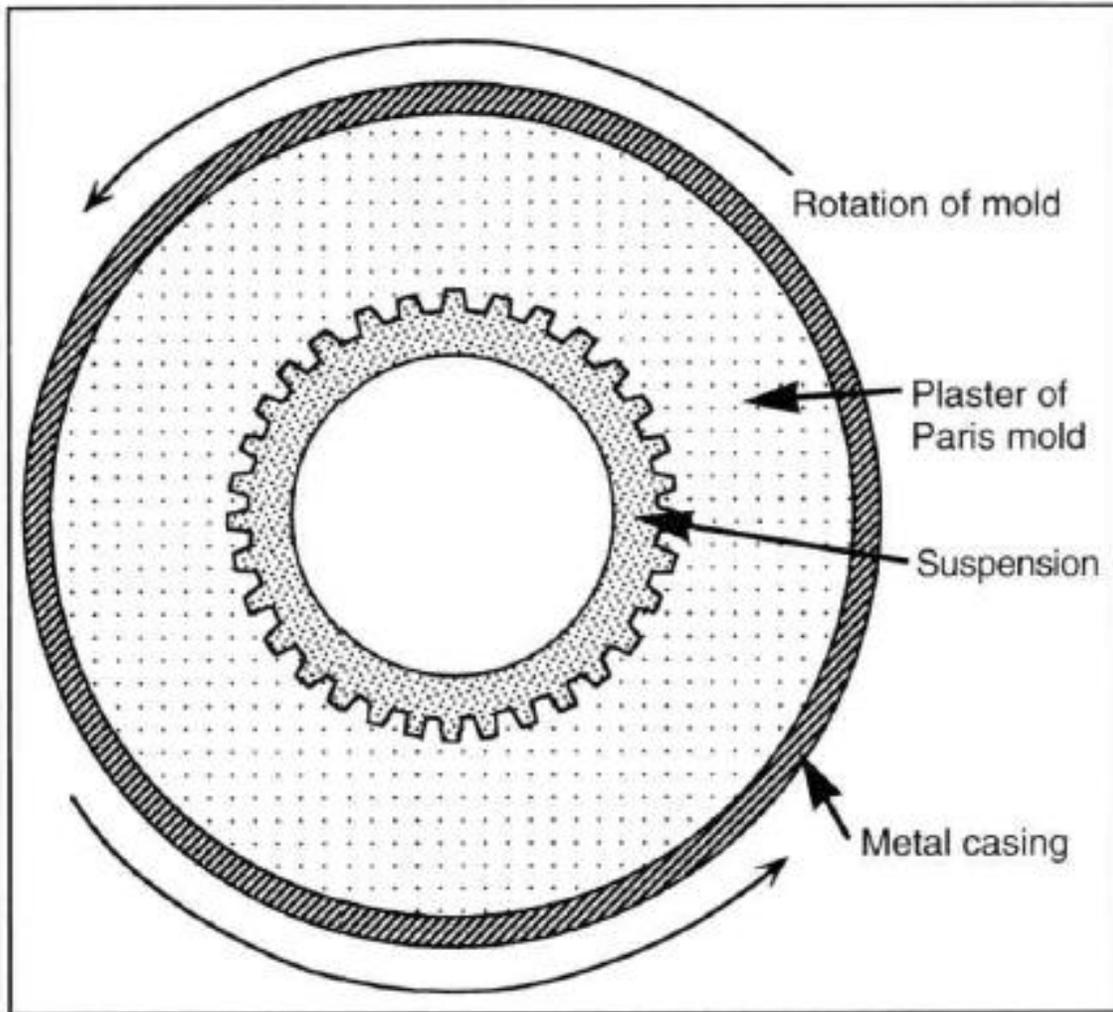


**Ilustración 11. Pressure slip casting (PSC) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

### 2.3. COLAJE CENTRÍFUGO - Centrifugal slip casting (CSC)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde poroso una suspensión de materiales cerámicos en agua, aplicando rotación a alta velocidad por efectos de la fuerza centrífuga el agua se extrae de la suspensión hacia las paredes del molde, ocasionando que se depositen las partículas sobre la superficie del mismo, formando así una pared sólida. Una vez obtenido el espesor deseado el excedente se drena y se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Evans, 2008; Rak, 2000; Steinlage, Roeder, Trumble, & Bowman, 1996)



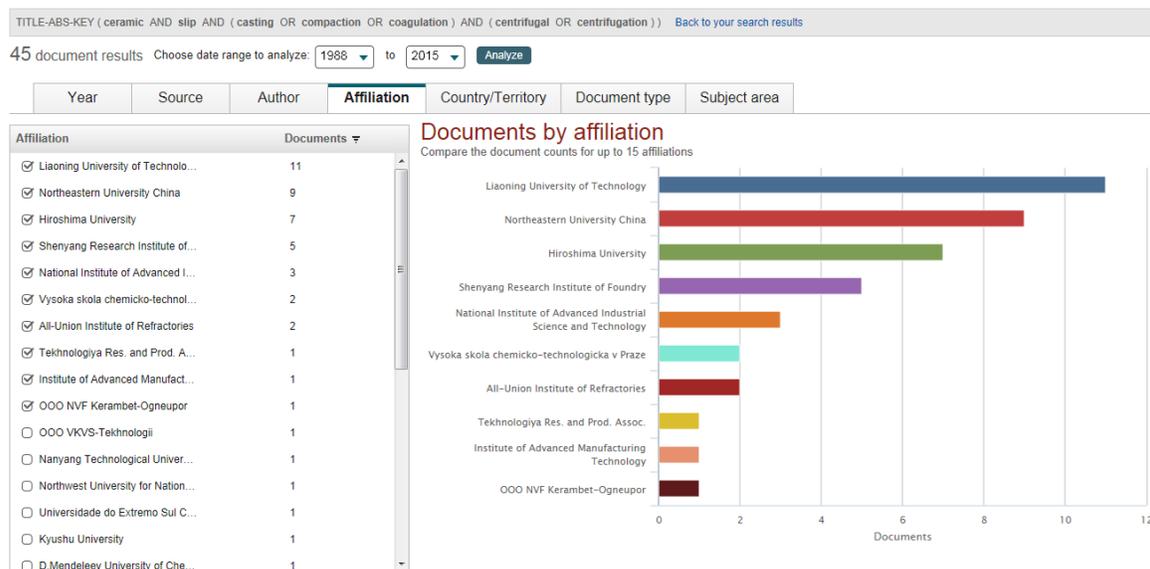
**Ilustración 12 . Esquema proceso colaje centrífugo Centrifugal slip casting (CSC)**

**Fuente:** (Steinlage et al., 1996)

El líquido es eliminado a través de las paredes de un molde poroso debido a la fuerza centrífuga generada por la rápida rotación del mismo. Apto para conformar solo algunas formas que tengan simetría sobre el eje de rotación. Ver: (Sato, Hotta, Yilmaz, & Watari, 2009).

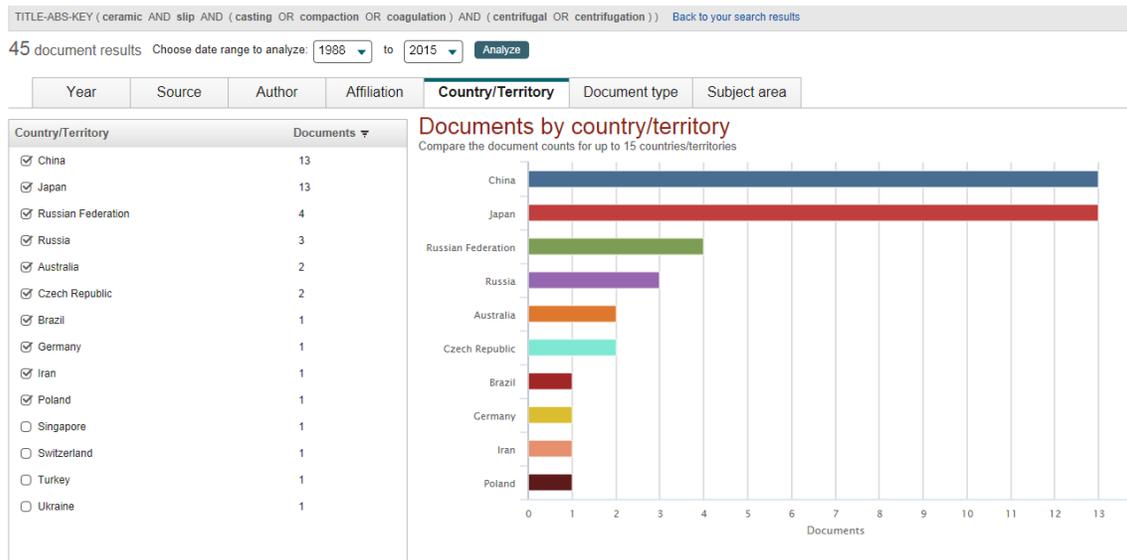
En lo referente al desarrollo científico para esta tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND slip AND (casting OR compaction OR coagulation) AND (centrifugal OR centrifugation)) no muestra una tendencia definida en el número de publicaciones.





**Ilustración 15. Centrifugal slip casting (CSC) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 16. Centrifugal slip casting (CSC) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## 2.4. COLAJE EN GEL – Gel casting (GC)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua o alcohol, que contiene además un sistema de componentes químicos que polimerizan generando un gel estable que consolida las partículas. Una vez completado el tiempo de reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Omatete, Janney, & Nunn, 2008; Tallon & Franks, 2011; Yu, Yang, & Huang, 2011)

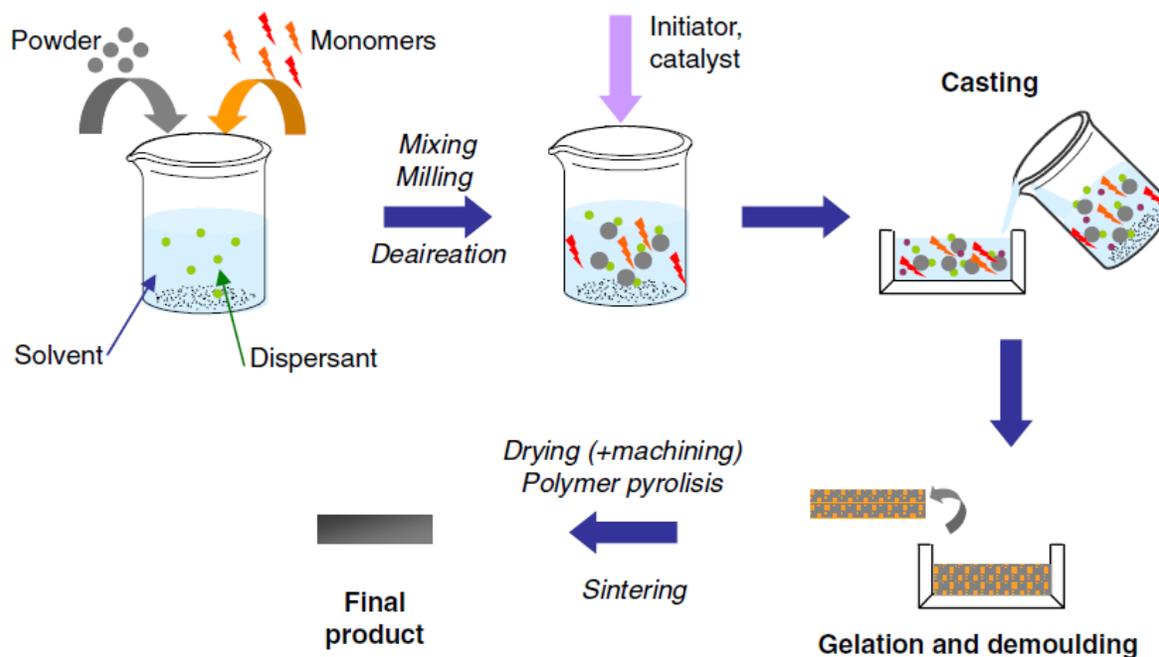
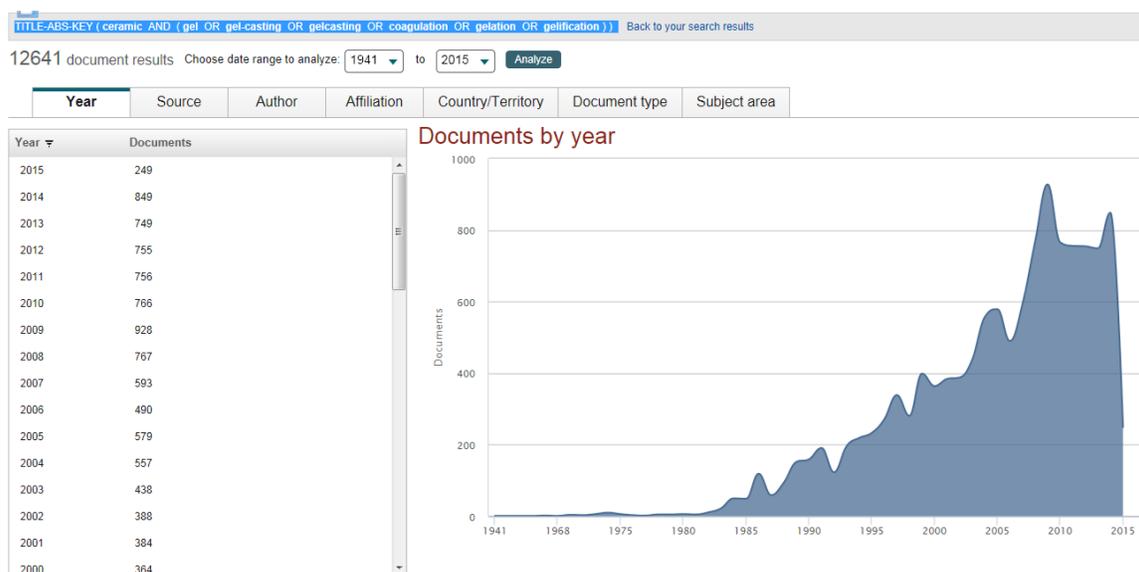


Ilustración 17. Esquema proceso COLAJE EN GEL - Gel casting (GC)

**Fuente:** (Tallon & Franks, 2011)

La solidificación se realiza por una reacción de polimerización, (J. Yang, Yu, & Huang, 2011) lo que permite obtener piezas sólidas de gran resistencia mecánica en verde (Xie, Zhang, Zhang, Zhou, & Button, 2012) y con gran exactitud dimensional (Gilissen, Erauw, Smolders, Vanswijgenhoven, & Luyten, 2000). Deben considerarse factores como la toxicidad del sistema utilizado en la formulación (Wan, Yang, Zeng, Yao, & Qiu, 2014) y la facilidad con la que el mismo pueda ser eliminado en las etapas posteriores de sinterización de la pieza.

En cuanto al desarrollo científico alrededor de esta tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND (gel OR gel-casting OR gelcasting OR coagulation OR gelation OR gelification)) muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones.

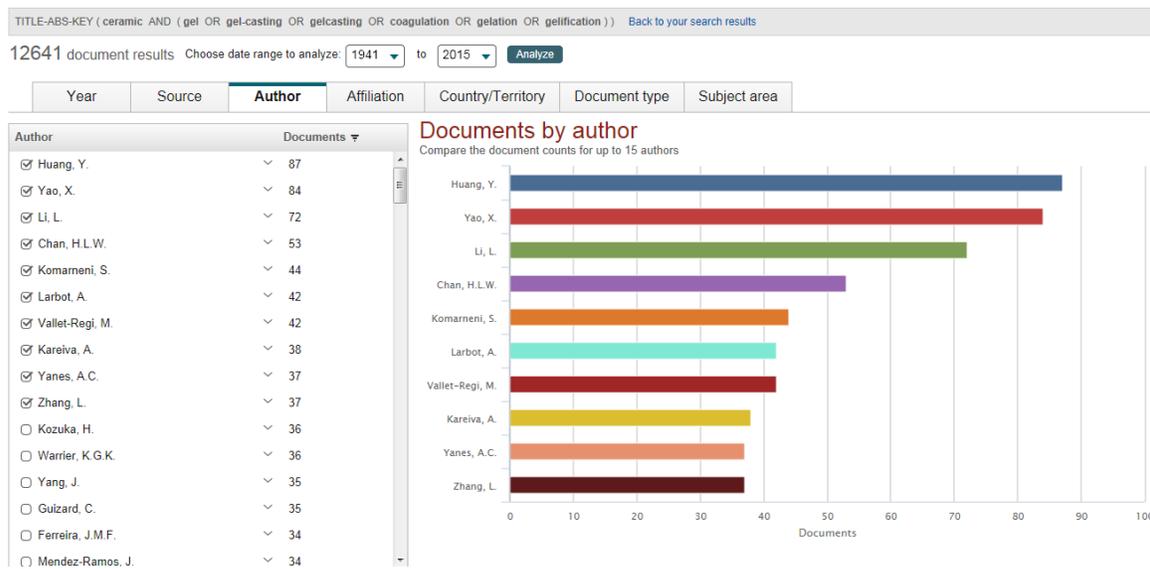


**Ilustración 18. gelcasting (GC) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

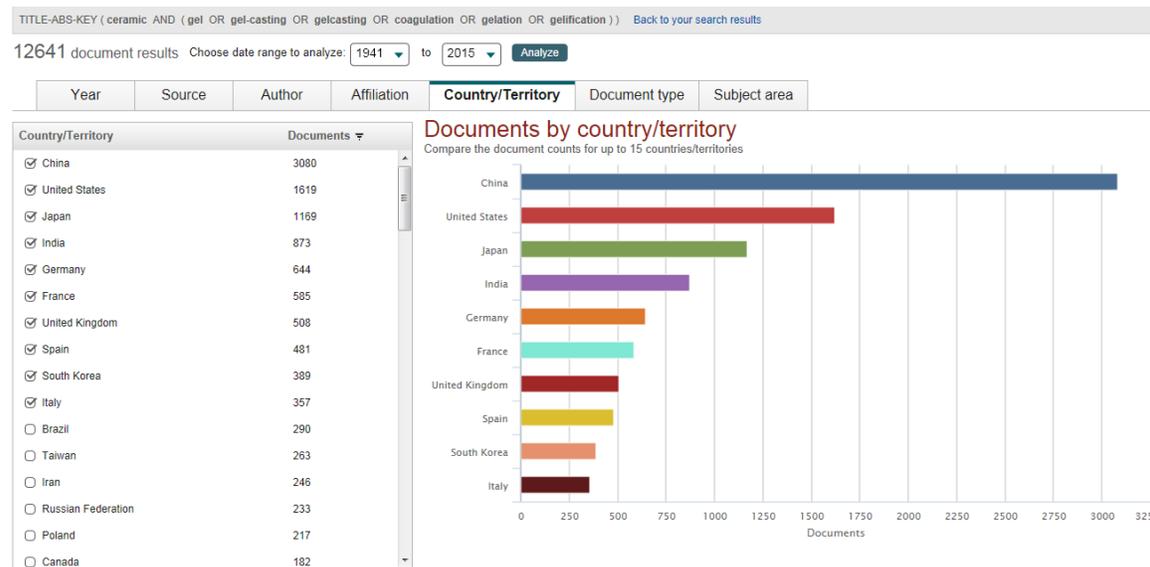
Los principales autores son:

- Huang, Y. Technical Institute of Physics and Chemistry Chinese Academy of Sciences, Beijing, China. Revisan los avances de la técnica con diversos sistemas de gelificación y materiales.
- Yao, X. Inner Mongolia University of Science and Technology, School of Materials and Metallurgy, Baotou, China. Orientado a la deposición de películas delgadas.
- Li, L. Henan University of Science and Technology, Luoyang Key Laboratory of Photoelectric Functional Materials, Luoyang, China. Enfocado en la aplicación de la técnica Sol-Gel.



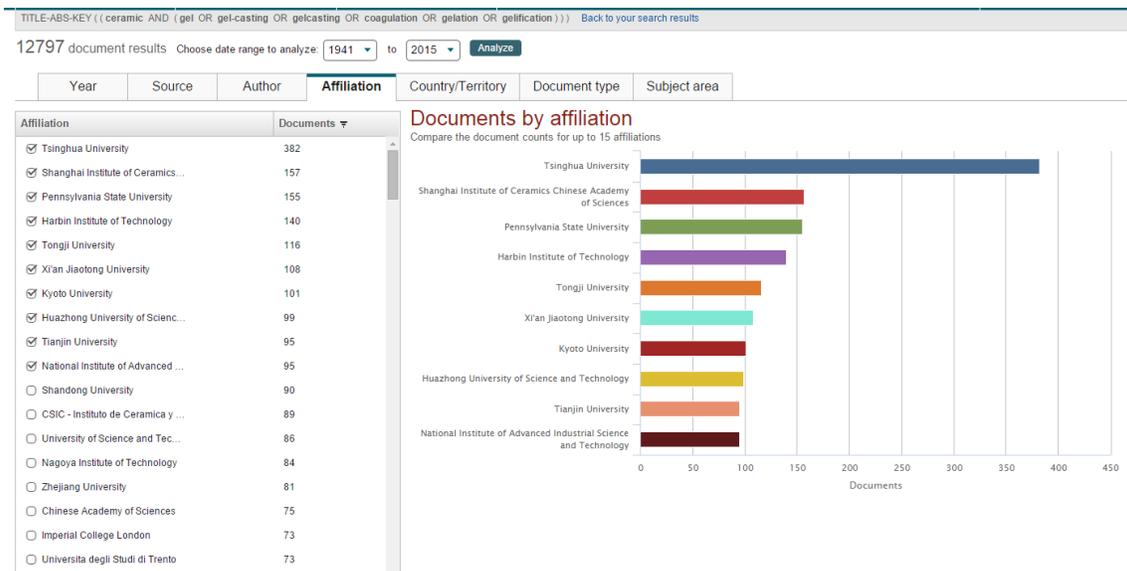
**Ilustración 19. gelcasting (GC) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 20. gelcasting (GC) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

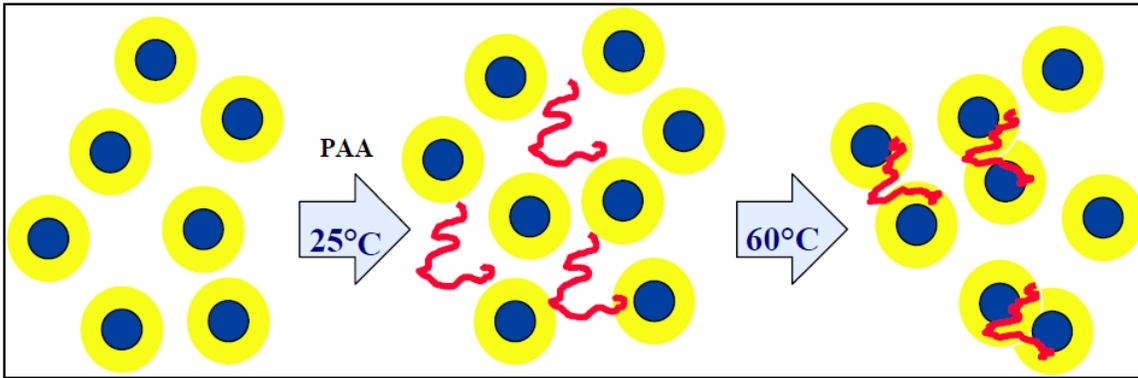


**Ilustración 21. gelcasting (GC) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## 2.5. FORMACIÓN TÉRMICA - Temperature induced forming (TIF)

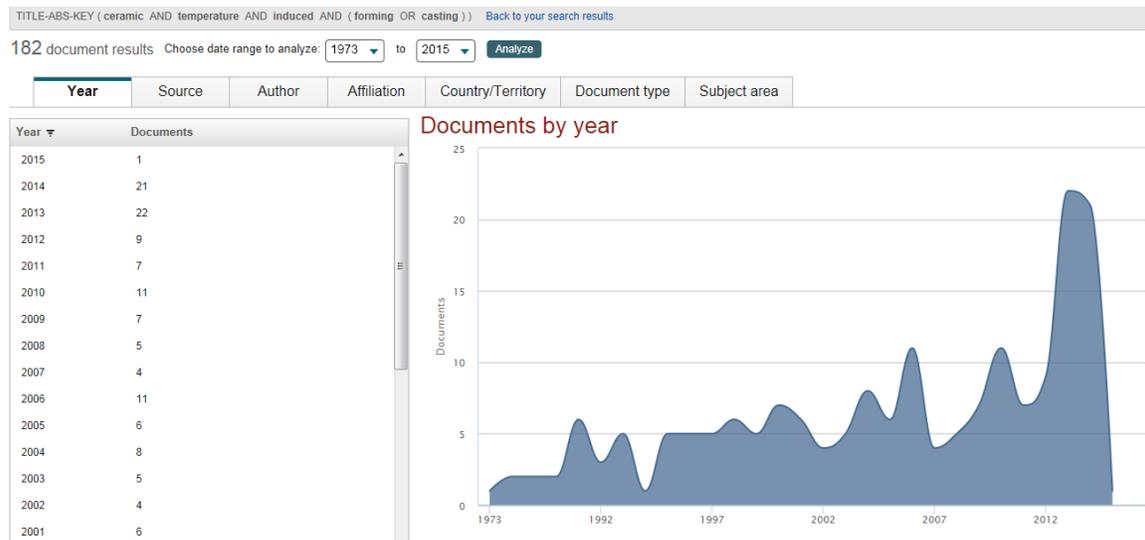
**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua que contiene disuelto un sistema de componentes químicos que ante un cambio en la temperatura conforman un gel estable que consolida las partículas. Completado el tiempo de reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Li, 2001; Y. Yang & Sigmund, 2003; Yu et al., 2011)



**Ilustración 22. Esquema proceso FORMACIÓN TÉRMICA -Temperature induced forming (TIF)**

**Fuente:** (Li, 2001)

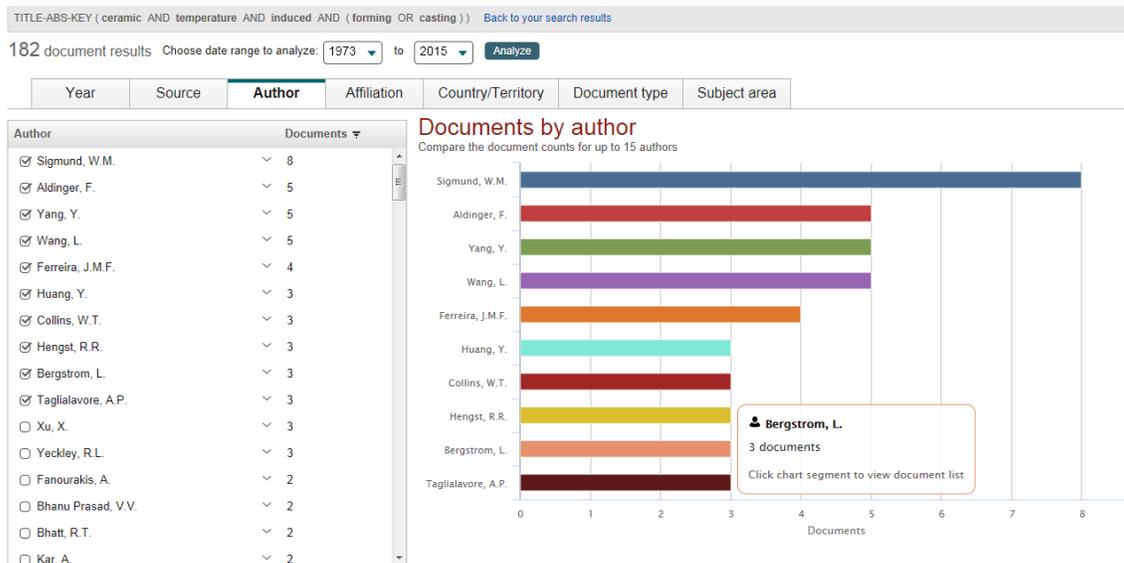
En cuanto al desarrollo científico alrededor de esta tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND temperature AND induced AND (forming OR casting) ) muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones.



**Ilustración 23. Temperature induced forming (TIF) Tendencia publicaciones.**

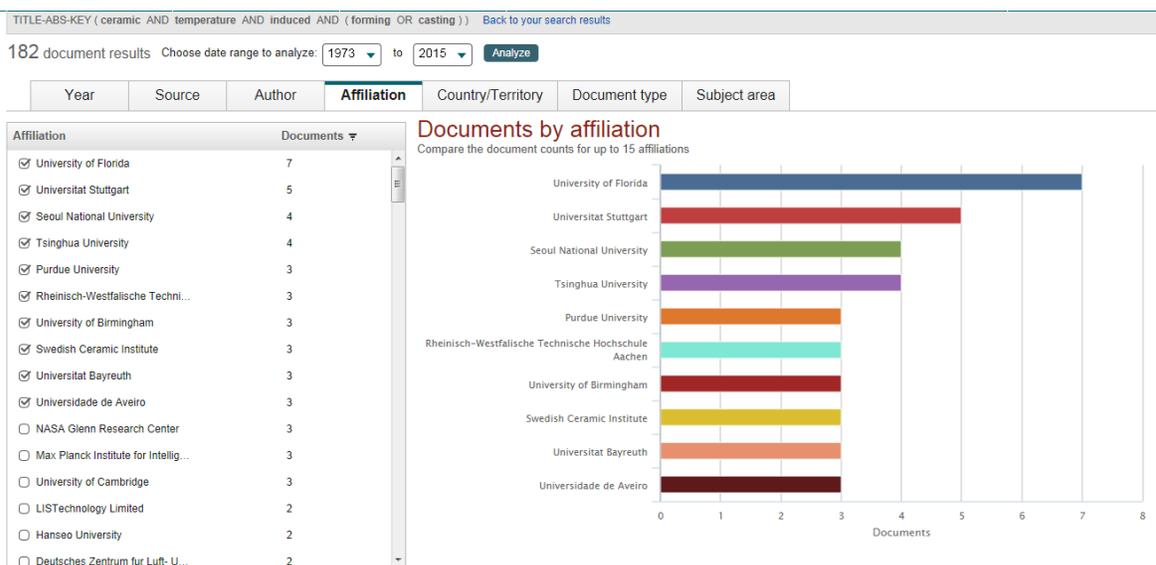
**Fuente:** SCOPUS abril 2015.

El principal autor Sigmund, W.M. University of Florida, Department of Materials Science and Engineering, Gainesville, United States. Se concentra en la descripción del mecanismo de formación, la caracterización de los sólidos obtenidos y su aplicación en prototipado rápido.



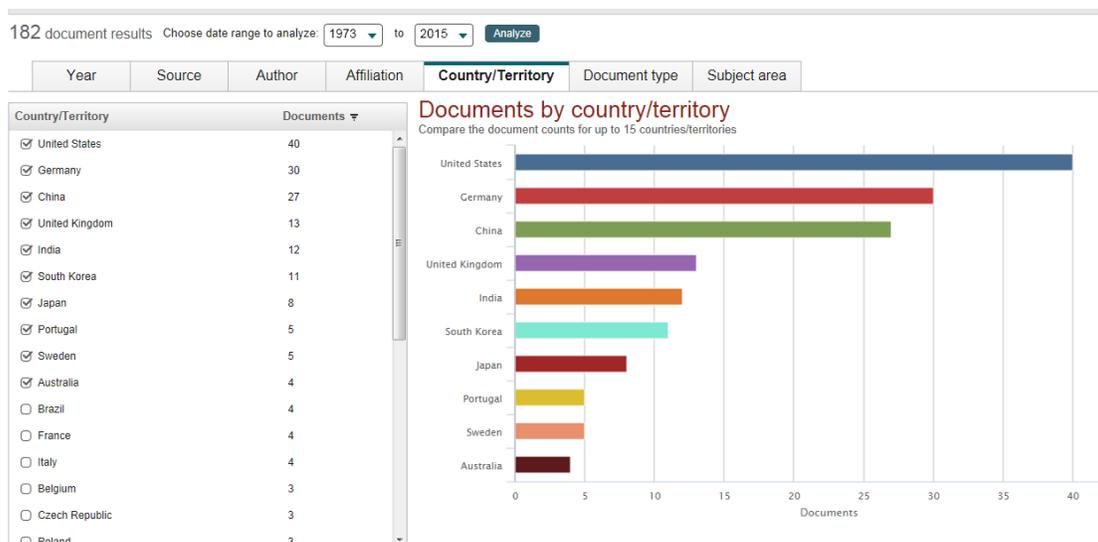
**Ilustración 24. Temperature induced forming (TIF) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 25. Temperature induced forming (TIF) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 26. Temperature induced forming (TIF) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## 2.6. MOLDEO ROTATIVO - In situ coagulation rotary moulding (ICRM)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua que contiene disueltos componentes químicos que sufren una reacción de hidrólisis relativamente lenta, inducida por incremento en la temperatura o la acción de una enzima, ocasionando una reducción gradual del pH que afecta el estado de defloculación de la suspensión hasta el punto que se coagulan las partículas formando un sólido estable. Mediante la rotación del molde durante el período de reacción se logra que la suspensión se deposite uniformemente sobre las paredes del mismo permitiendo obtener formas huecas. Una vez completado el tiempo de reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Al-Dawery et al., 2009; Rahim, Sahab, Saad, Hamidi, & Said, n.d.; Santacruz, Nieto, Binner, & Moreno, 2009)



Ilustración 27. Máquina Piloto y Molde para MOLDEO ROTATIVO - In situ coagulation rotary moulding (ICRM)

**Fuente:** (Al-Dawery et al., 2009)

El desarrollo científico para esta tecnología está concentrado en el Reino Unido en la universidad de Loughborough en el marco de un plan de estímulo estatal para el desarrollo tecnológico y se cuenta con una patente otorgada (Sambrook, Binner, Davies, & McDermott, 1999), a pesar de no contar con difusión, la tecnología es considerada de gran interés en la presente revisión, considerando la aplicación de una modificación de la tecnología de rotomoldeo de plásticos, la cual es del dominio de una empresa del mismo grupo que Eurocerámica y Senco, por lo que podría ser fácilmente transferida de considerarse su implementación.

## 2.7. COLAJE POR COAGULACIÓN DIRECTA - Direct Coagulation Casting (DCC)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua que contiene disueltos componentes químicos que sufren una reacción de hidrólisis relativamente lenta, inducida por temperatura o la acción de una enzima, ocasionando una reducción gradual del pH o la liberación de una sal que afecta el estado de defloculación de la suspensión hasta el punto que se coagulan las partículas formando un sólido estable. Una vez completado el tiempo de reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Gauckler, Graule, & Baader, 1999; Yu et al., 2011)

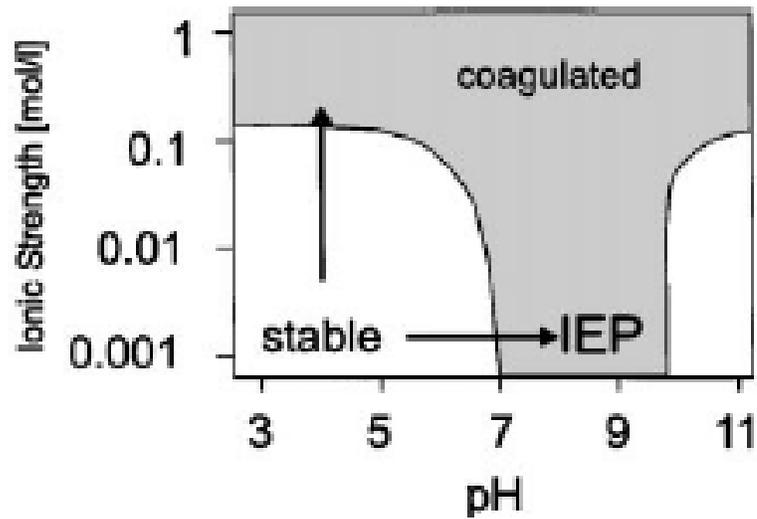


Ilustración 28. Esquema proceso

COLAJE POR COAGULACIÓN DIRECTA - Direct Coagulation Casting (DCC)

Fuente: (Gauckler et al., 1999)

En cuanto el desarrollo científico para esta tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND direct AND coagulation AND ( casting OR molding OR consolidation ) ) no muestra una tendencia definida en el número de publicaciones.

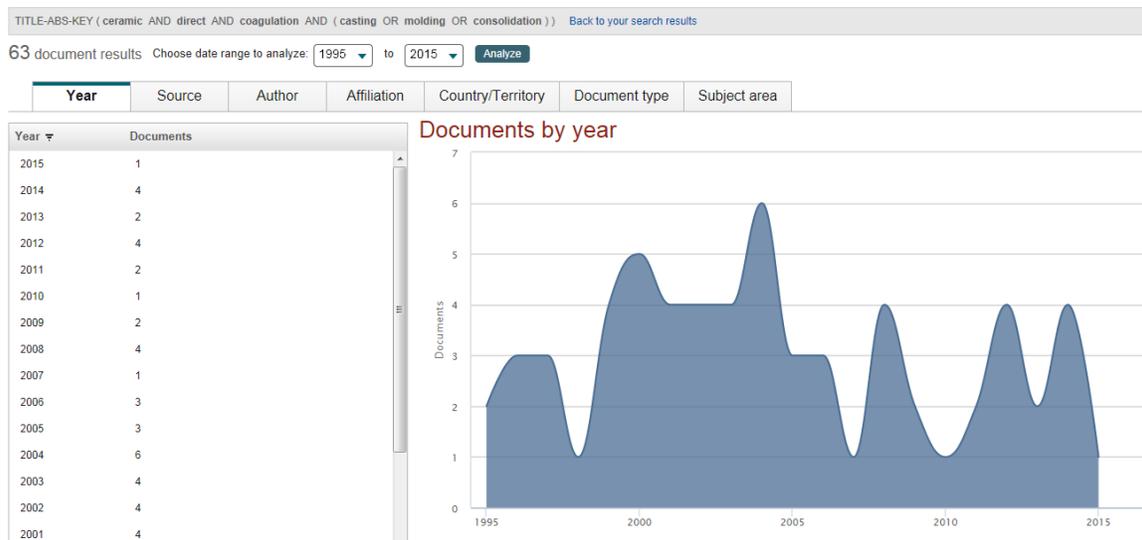
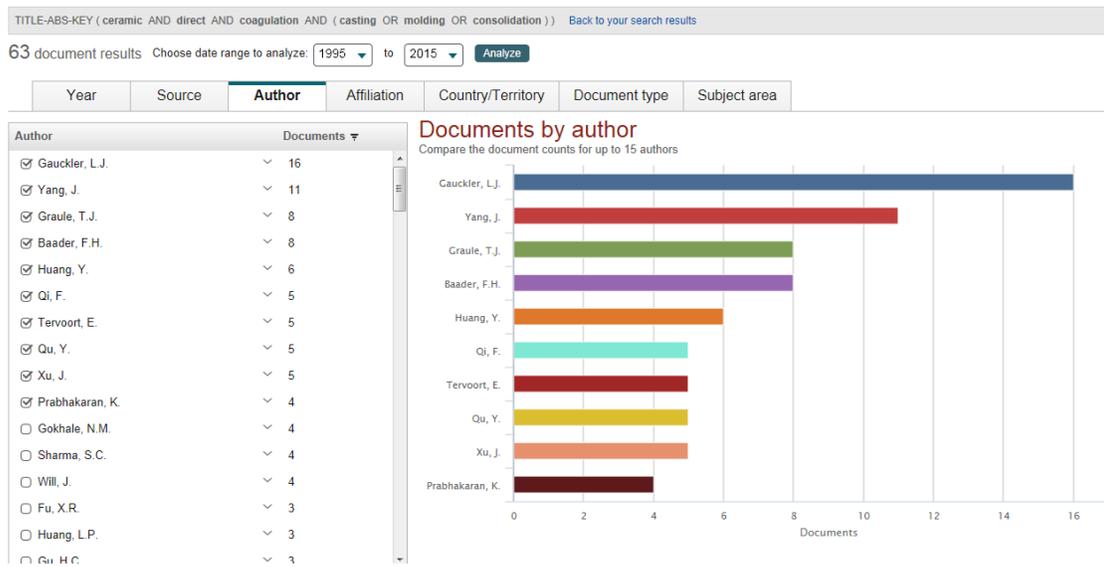


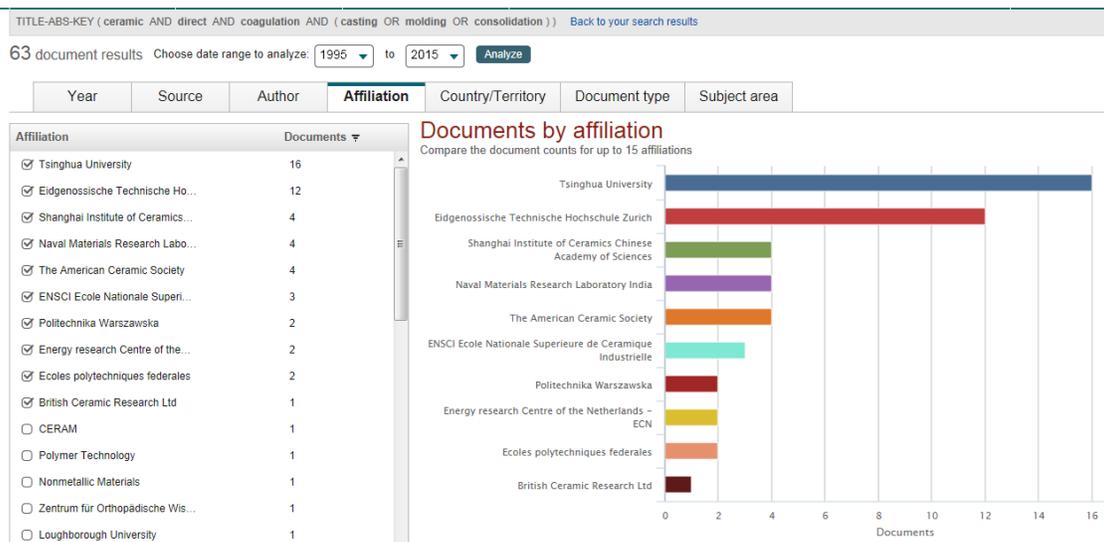
Ilustración 29. Direct Coagulation Casting (DCC) Tendencia publicaciones.

Fuente: SCOPUS abril 2015.



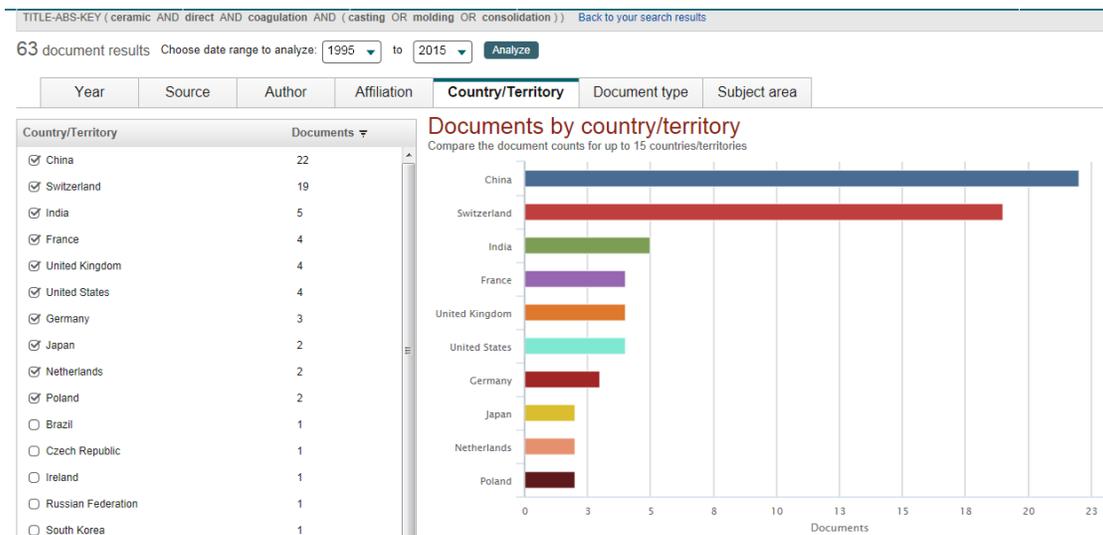
**Direct Coagulation Casting (DCC) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 30. Direct Coagulation Casting (DCC) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 31. Direct Coagulation Casting (DCC) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## 2.8. FORMACIÓN POR HIDRÓLISIS - hydrolysis assisted solidification (HAS)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua que contiene suspendido Nitrato de Aluminio (AIN), el cual sufre una reacción de hidrólisis relativamente lenta, acelerada por temperatura, consumiendo agua y liberando Amoníaco (NH<sub>3</sub>) que provoca un incremento gradual del pH que afecta el estado de defloculación de la suspensión. Se generan además Hidróxidos de Aluminio Al(OOH) que gelifican, contribuyendo todos estos factores a que se consoliden las partículas formando un sólido estable. Una vez completado el tiempo de reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Ganesh, Sundararajan, Olhero, Torres, & Ferreira, 2010; Kosmac, Novak, & Sajko, 1997)

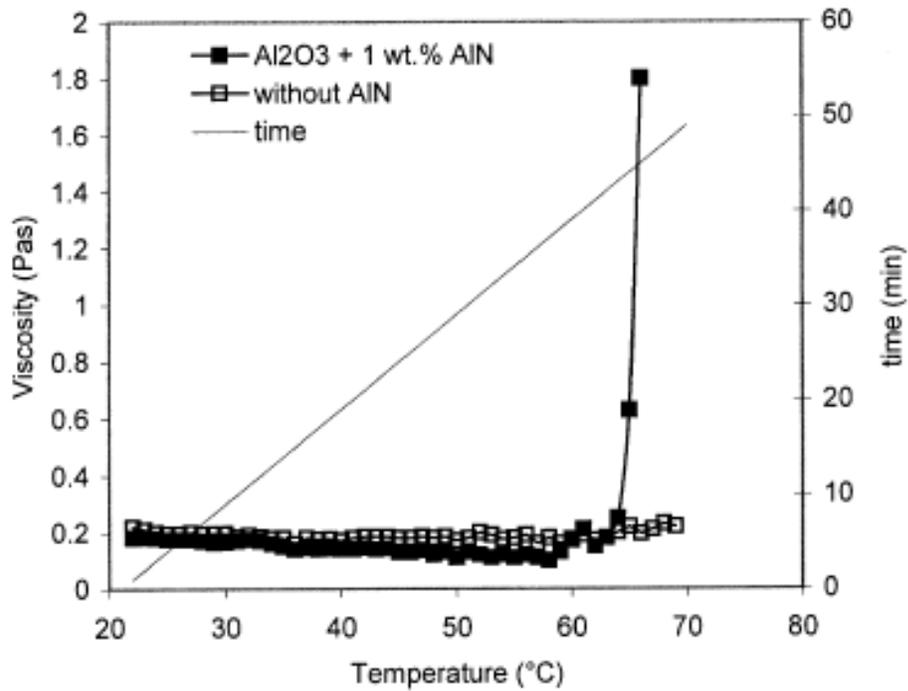
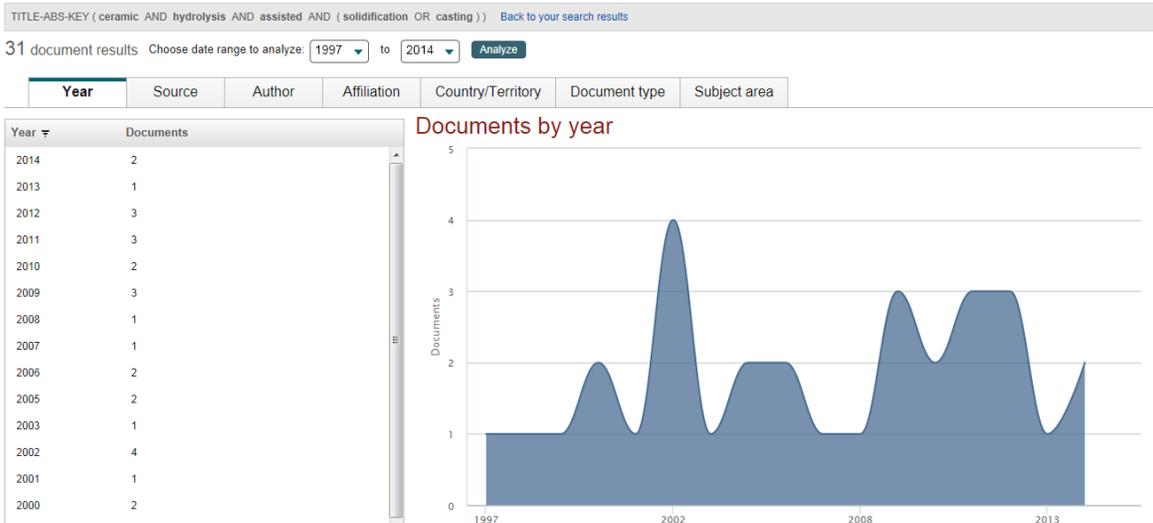


Ilustración 32. Esquema proceso

### FORMACIÓN POR HIDRÓLISIS - hydrolysis assisted solidification (HAS)

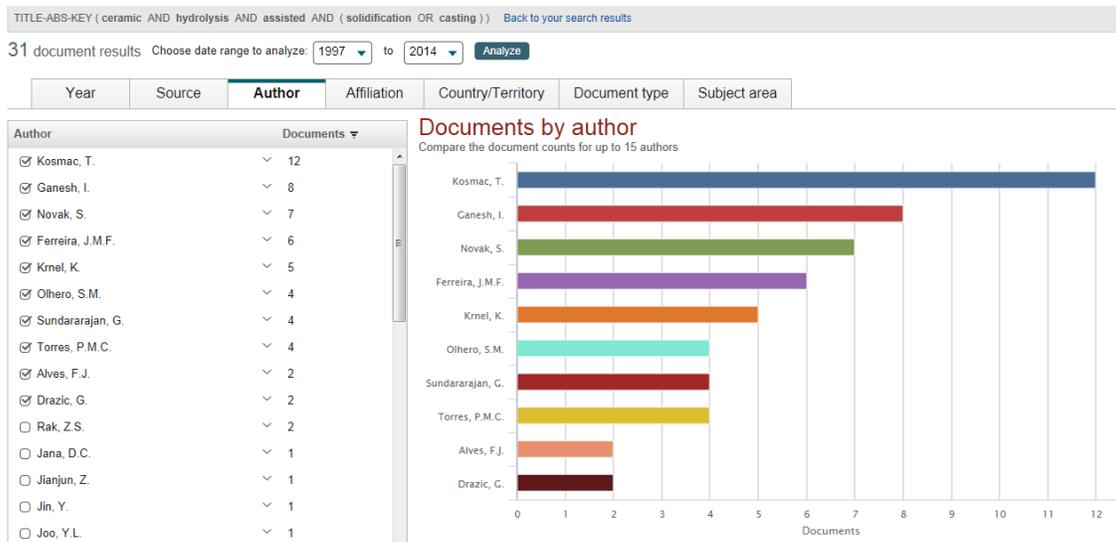
Fuente: (Kosmac et al., 1997)

En cuanto al desarrollo científico alrededor de esta tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND hydrolysis AND assisted AND ( solidification OR casting ) ) no muestra una tendencia definida en el número de publicaciones.



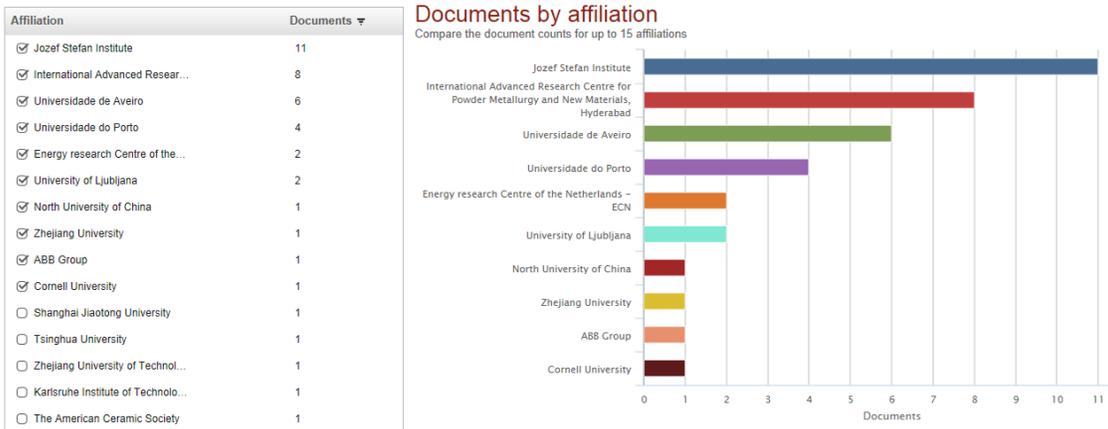
**Ilustración 33. Hydrolysis assisted solidification (HAS) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



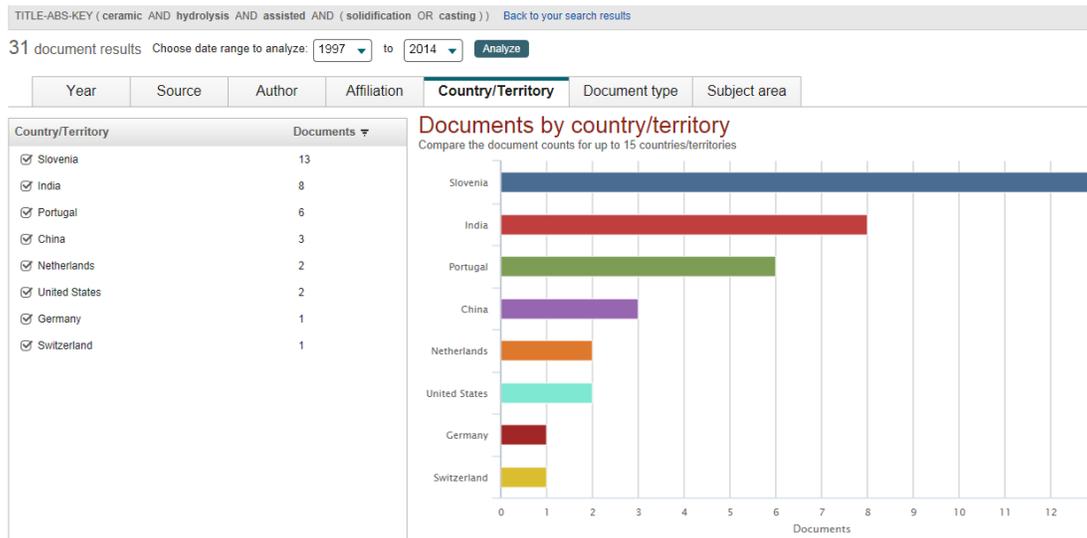
**Ilustración 34. Hydrolysis assisted solidification (HAS) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 35. Hydrolysis assisted solidification (HAS) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



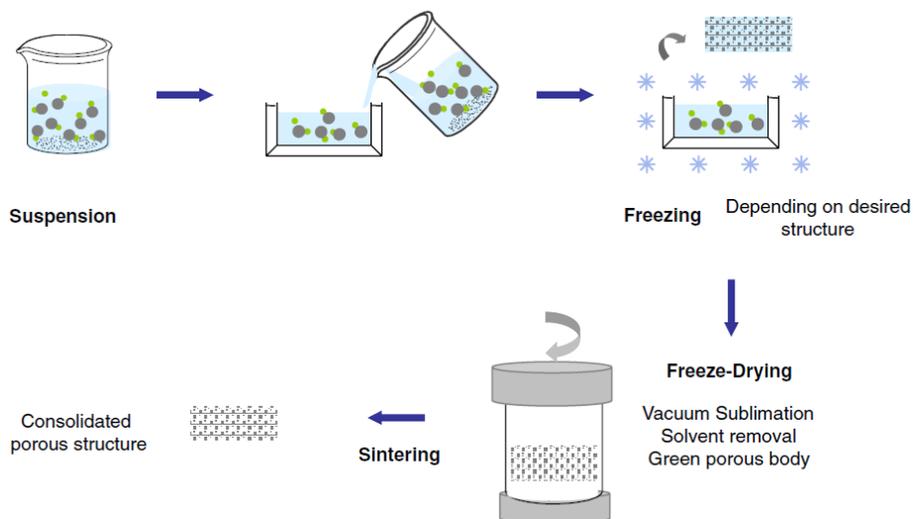
**Ilustración 36. Hydrolysis assisted solidification (HAS) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## 2.9. COLAJE POR CONGELACIÓN - Freeze Casting (FC)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua o en otro solvente, se somete a bajas temperaturas hasta que este se cristaliza separándose de la suspensión y uniendo las partículas para formar un sólido. Completado el proceso de congelación se separan las partes del molde para extraer la pieza formada, manteniéndola a bajas temperaturas. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza pasa a secado por sublimación, permitiendo que al pasar el solvente directamente al estado gaseoso, se mantenga la integridad de la pieza. El sólido obtenido es poroso debido a los espacios que dejan los cristales del solvente evaporado. Posteriormente se podrán ejecutar procesos de esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Araki & Halloran, 2003; Deville, 2008, 2010, 2013)

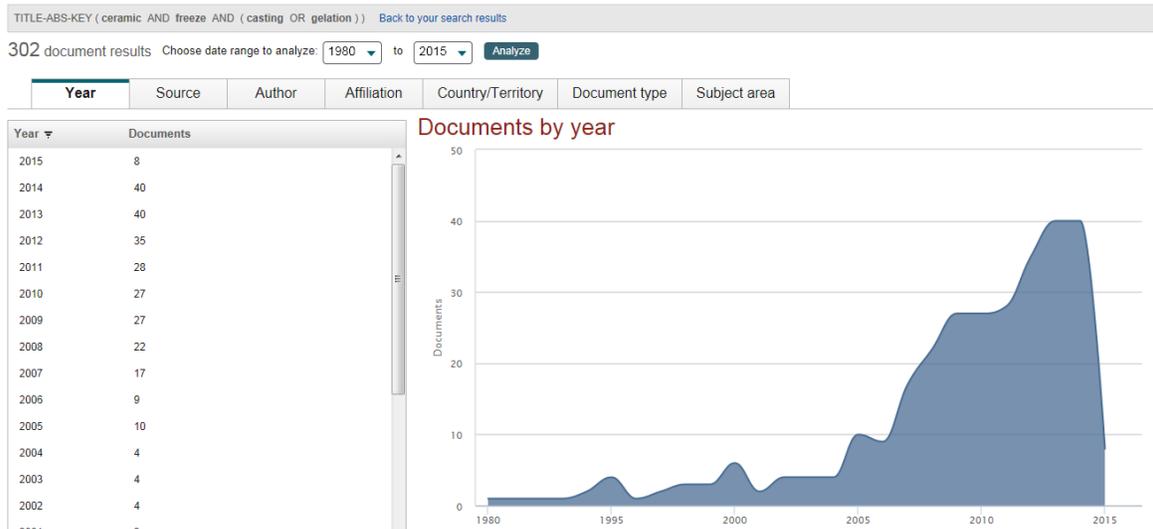
La aplicación de frío para solidificar el producto al congelarse el líquido (Fu, Jongprateep, Abbott, & Dogan, 2009), combinada con el secado por sublimación reduce la contracción y los defectos asociados a las fuerzas capilares generadas durante procesos de secado por evaporación. Controlando la velocidad y dirección de la cristalización del solvente se regula el grado de porosidad del sólido obtenido y pueden incluso obtenerse microestructuras anisotrópicas lamellares que otorgan efectos estructurales que incrementan la resistencia mecánica, pero si no son bien controladas también pueden originar defectos. (Tallon & Franks, 2011)



**Ilustración 37. Esquema proceso COLAJE POR CONGELACIÓN - Freeze Casting (FC)**

**Fuente:** (Tallon & Franks, 2011)

En cuanto al desarrollo científico en esta tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY ( ceramic AND freeze AND ( casting OR gelation ) ) muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones.

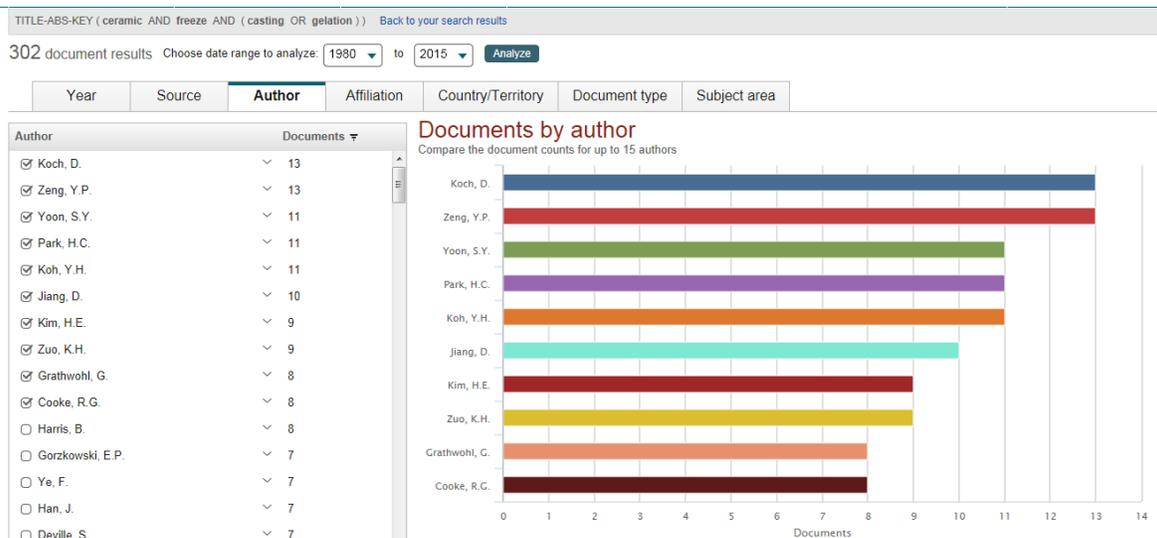


**Freeze Casting (FC) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

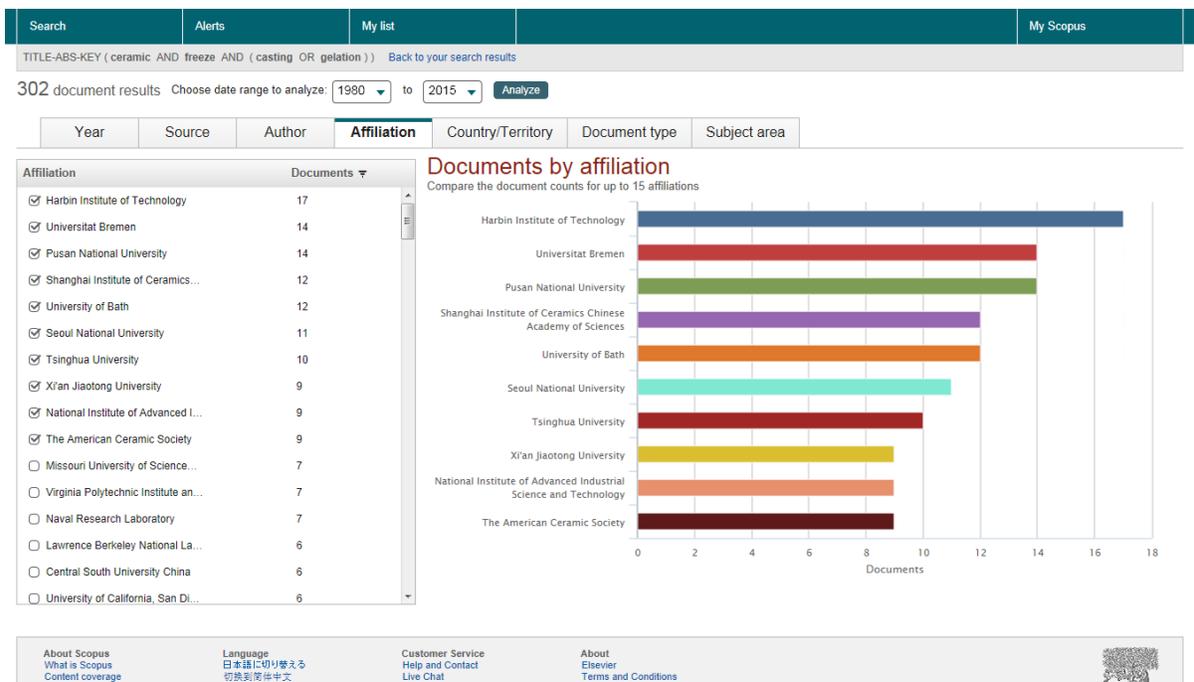
Los principales Autores:

- Koch, D. Deutsches Zentrum für Luft- Und Raumfahrt, Institute of Structures and Design, Cologne, Germany. Se concentra en el uso de la técnica para la producción de cerámicas compuestas con propiedades mejoradas inspiradas por sistemas biológicos.
- Zeng, Y.P. Shanghai Institute of Ceramics Chinese Academy of Sciences, Shanghai, China. Enfocado en la preparación de materiales porosos de alta resistencia a partir Nitruro de Silicio, Alúmina e Hidroxiapatita.
- Yoon, S.Y. Pusan National University, School of Materials Science and Engineering, Busan, South Korea. Aplicando la técnica a materiales porosos de hidroxiapatita y mullita.



**Freeze Casting (FC) Principales Autores.**

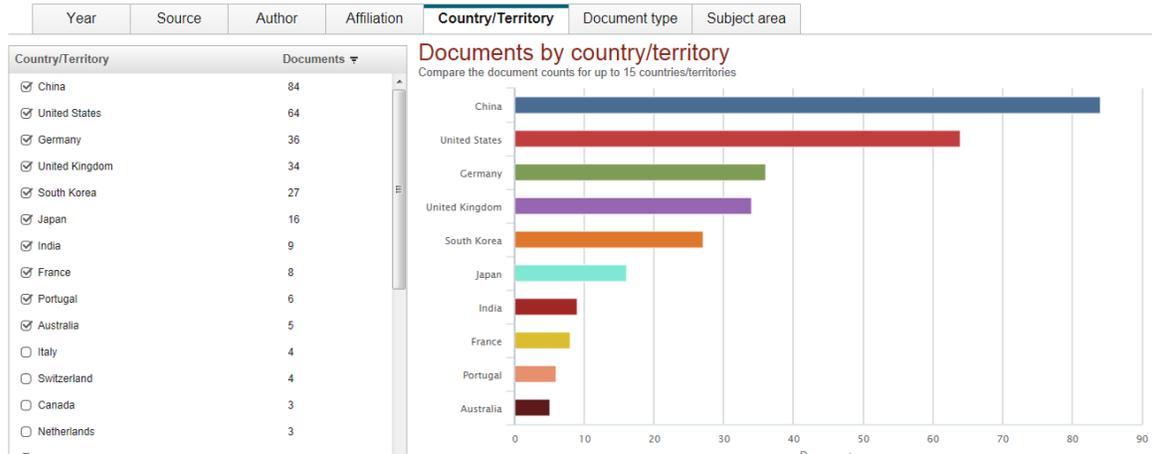
**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Freeze Casting (FC) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

302 document results Choose date range to analyze: 1980 to 2015 Analyze



### Freeze Casting (FC) Principales Países.

Fuente: SCOPUS abril 2015.

## 2.10. DEPOSICIÓN ELECTROFORÉTICA - Electrophoretic Deposition (EPD)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde conductor de la electricidad una suspensión de materiales cerámicos en etanol y se aplica mediante electrodos corriente directa. Por el fenómeno de electroforesis las partículas migran de la suspensión hacia las paredes del molde depositándose sobre la superficie del mismo, formando una pared sólida. Una vez obtenido el espesor deseado el excedente de la suspensión se drena y se separan las partes del molde para extraer la pieza formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Besra & Liu, 2007; Boccaccini & Zhitomirsky, 2005; Corni, Ryan, & Boccaccini, 2008; Novak & König, 2009)

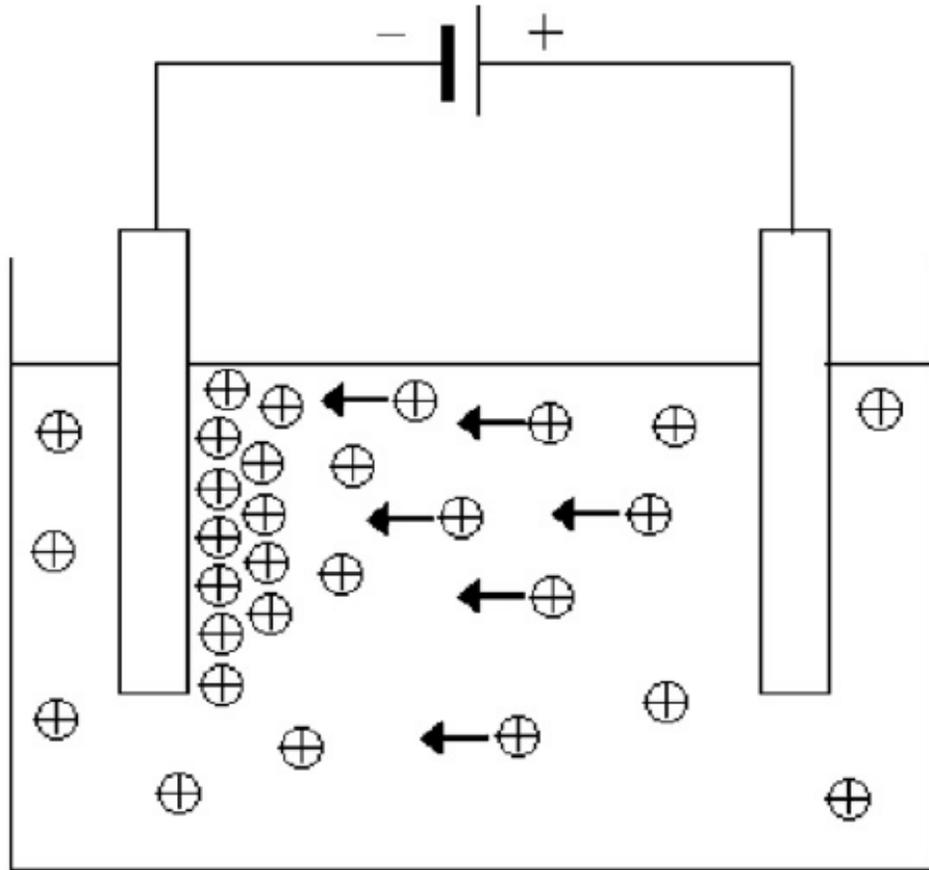
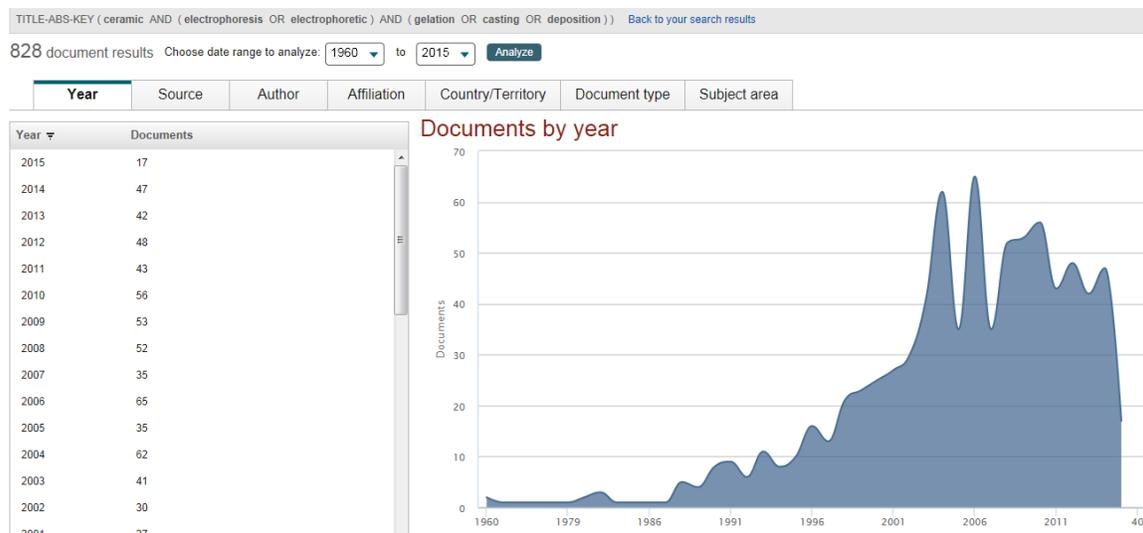


Ilustración 38. Esquema proceso DEPOSICIÓN ELECTROFORÉTICA - Electrophoretic Deposition (EPD)

**Fuente:** (Corni et al., 2008)

La consolidación se da al separar el sólido de la suspensión líquida mediante fuerzas electrocinéticas. Aplicable formar recubrimientos o sólidos huecos con paredes de bajo espesor. Tiene la característica de poder copiar con gran nivel de detalle los relieves superficiales del molde. (Sakka & Uchikoshi, 2010)

En cuanto al desarrollo científico de la técnica, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND (electrophoresis OR electrophoretic) AND ( gelation OR casting OR deposition ) ) muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones.

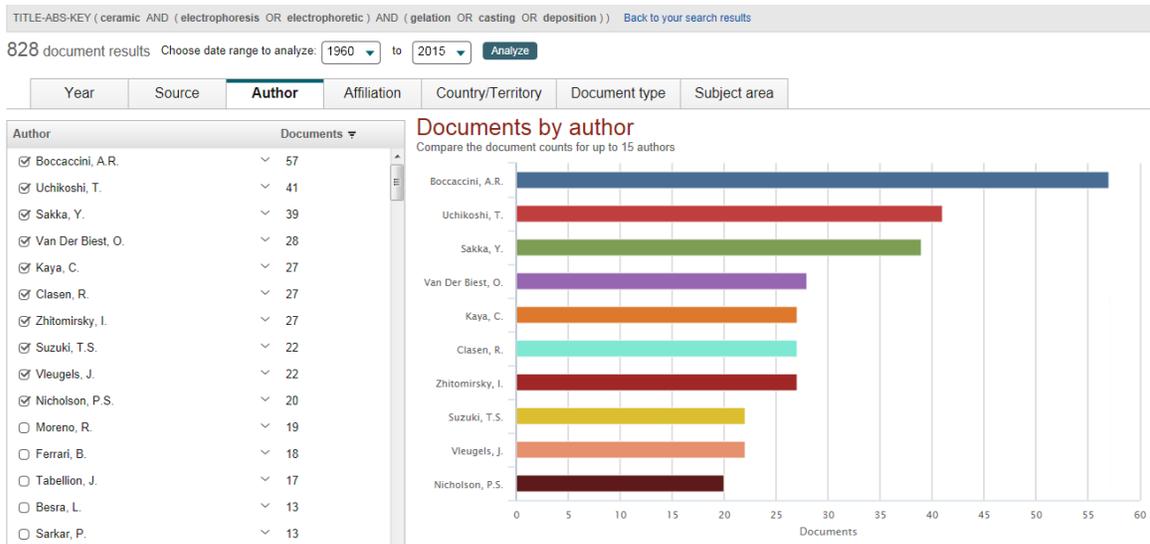


**Ilustración 39. Electrophoretic Deposition (EPD) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

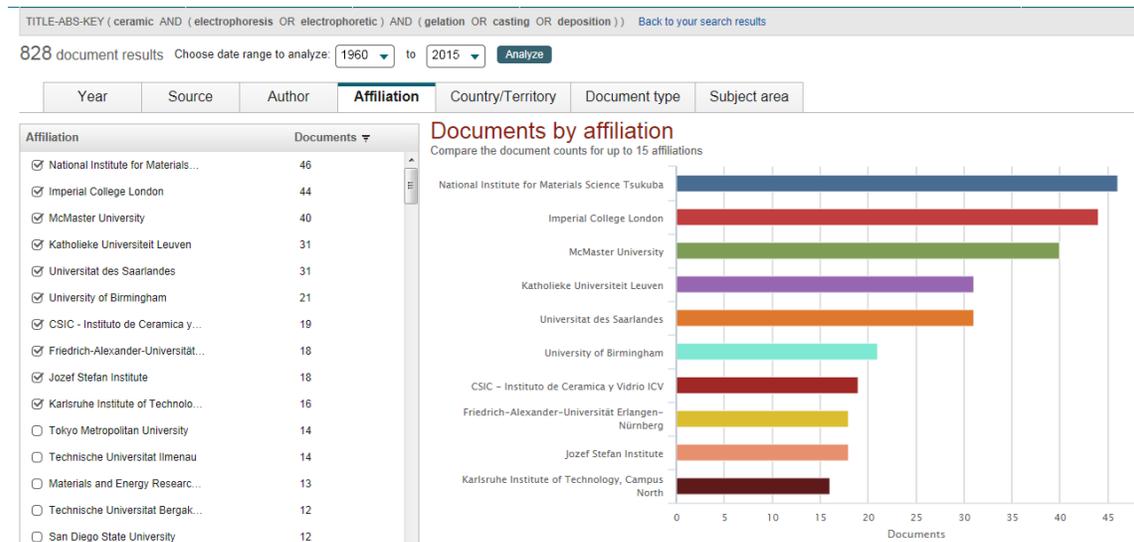
Los principales autores son:

- Boccaccini, A.R. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Department of Materials Science and Engineering, Erlangen, Germany. Enfocado en el uso de la técnica para la deposición de recubrimientos biocompatibles sobre metales.
- Uchikoshi, T. y Sakka, Y. National Institute for Materials Science Tsukuba, Tsukuba, Japan. Aplicando a la conformación de membranas porosas y la aplicación de campos magnéticos para modificar las características del material.



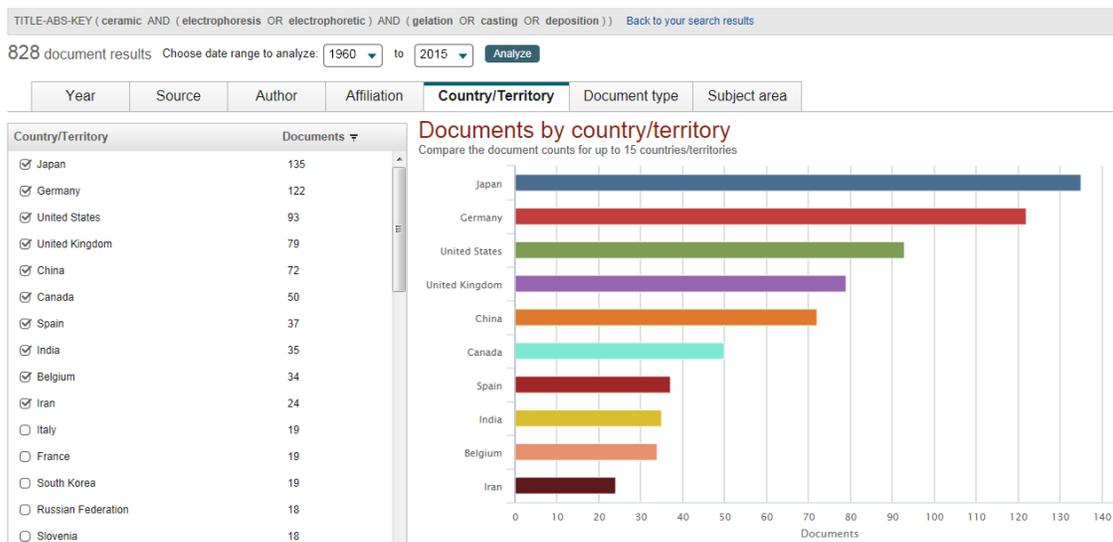
**Ilustración 40. Electrophoretic Deposition (EPD) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 41. Electrophoretic Deposition (EPD) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 42. Electrophoretic Deposition (EPD) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## 2.11. COLAJE EN CINTA - Tape casting (TC)

Descripción del proceso: Se deposita una suspensión de materiales cerámicos con aditivos ligantes y plastificantes sobre la superficie de una banda flexible que está en movimiento formando una capa sólida pero flexible. El espesor del material depositado se controla mediante una cuchilla. Una vez está seco el material se separa de la banda como una película sólida. De ser necesario se cortan o troquelan secciones de la forma requerida y se pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Andre Luiz da Silva, Bernardin, & Hotza, 2014; Hotza & Greil, 1995)

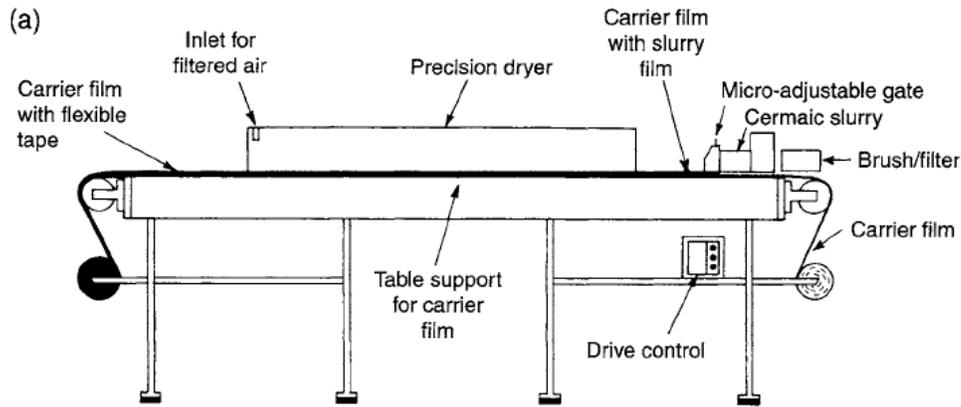


Ilustración 43. Esquema del equipo COLAJE EN CINTA - Tape casting (TC)

**Fuente:** (Asthana et al., 2006)

Esta técnica Permite la conformación de sólidos sobre una cinta en movimiento por la evaporación del líquido. Permite obtener cintas o sólidos planos de bajo espesor, a partir de los cuales es posible generar otros tipos de formas, incluso tridimensionales mediante el apilamiento de capas. (André Luiz da Silva, Michael Bernardin, & Hotza, 2013).

En cuanto al desarrollo científico de esta técnica, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND tape AND (casting OR gel) ) muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones.

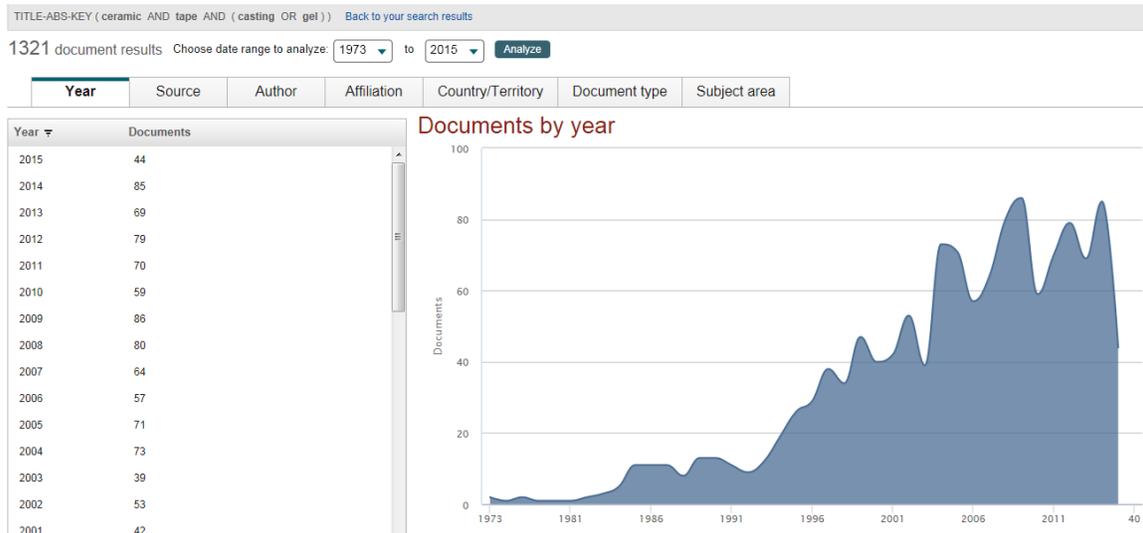
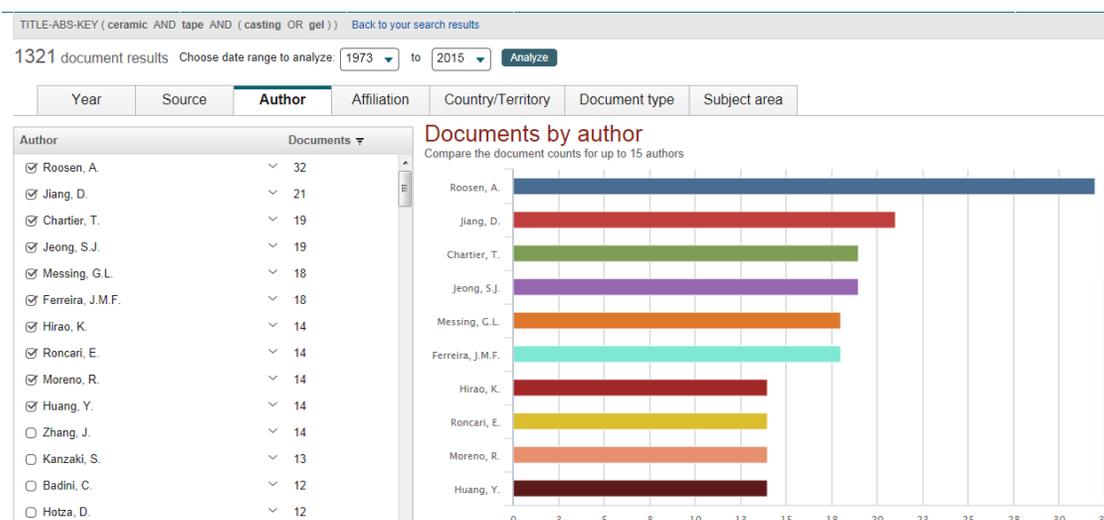


Ilustración 44. Tape casting (TC) Tendencia publicaciones.

**Fuente:** SCOPUS abril 2015.

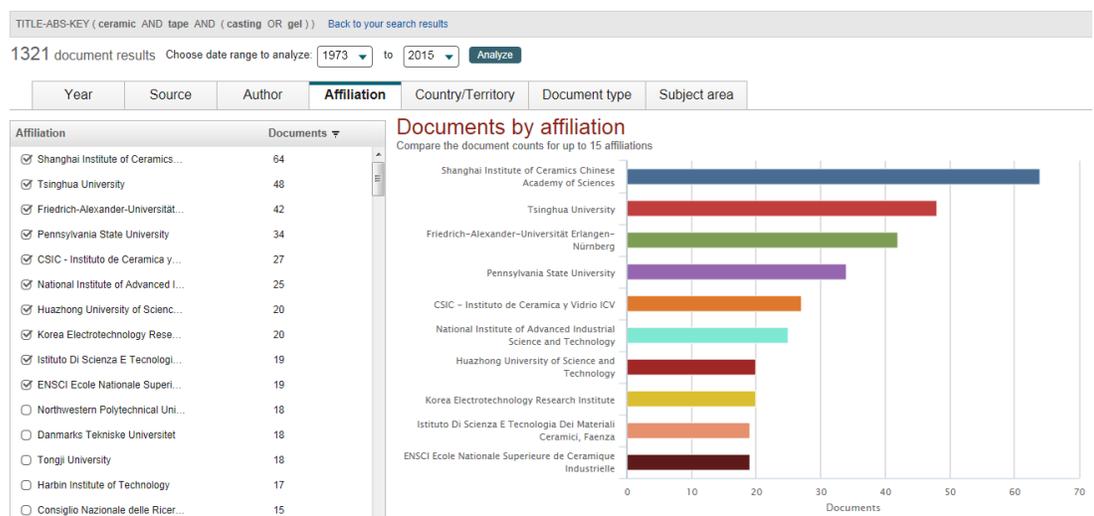
Los principales autores son:

- Roosen, A. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Department of Materials Science, Glass and Ceramics, Erlangen, Germany. Orientado a la caracterización de materiales compuestos producidos por esta técnica y su aplicación como refractarios.
- Jiang, D. Shanghai Institute of Ceramics Chinese Academy of Sciences, Shanghai, China. Aplicando la tecnología en la fabricación de laminados de carburo de silicio.



**Ilustración 45. Tape casting (TC) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 46. Tape casting (TC) Principales Instituciones.**

Fuente: SCOPUS abril 2015.

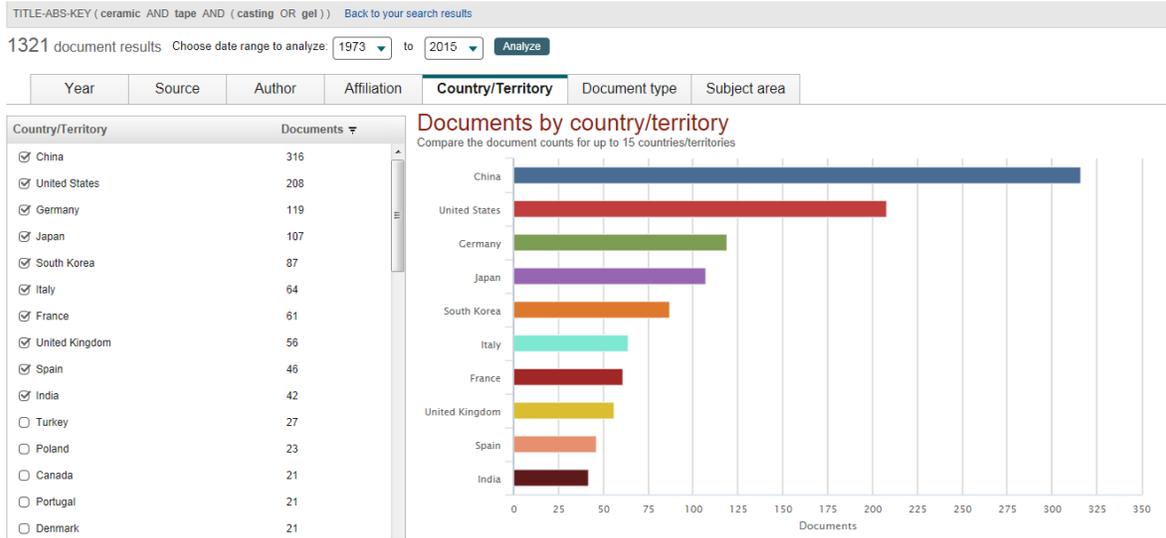


Ilustración 47. Tape casting (TC) Principales Países.

Fuente: SCOPUS abril 2015.

## 2.12. MANUFACTURA ADITIVA - solid free form fabrication (SFF)

**Descripción del proceso:** Partiendo de un diseño CAD y mediante un equipo controlado por computador, se conforma una pieza sólida de forma aditiva mediante capas apiladas de material cerámico, utilizando como técnicas:

- La gelificación selectiva de una suspensión cerámica mediante un láser UV.
- la deposición directa de material cerámico por extrusión o chorro de tinta.
- La sinterización selectiva de capas de suspensión o polvo cerámico seco mediante laser.

Posteriormente se eliminan los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Chartier, Dupas, Lasgorceix, Brie, Champion, Delhote, Chaput, et al., 2015; Tian, Li, & Heinrich, 2011)

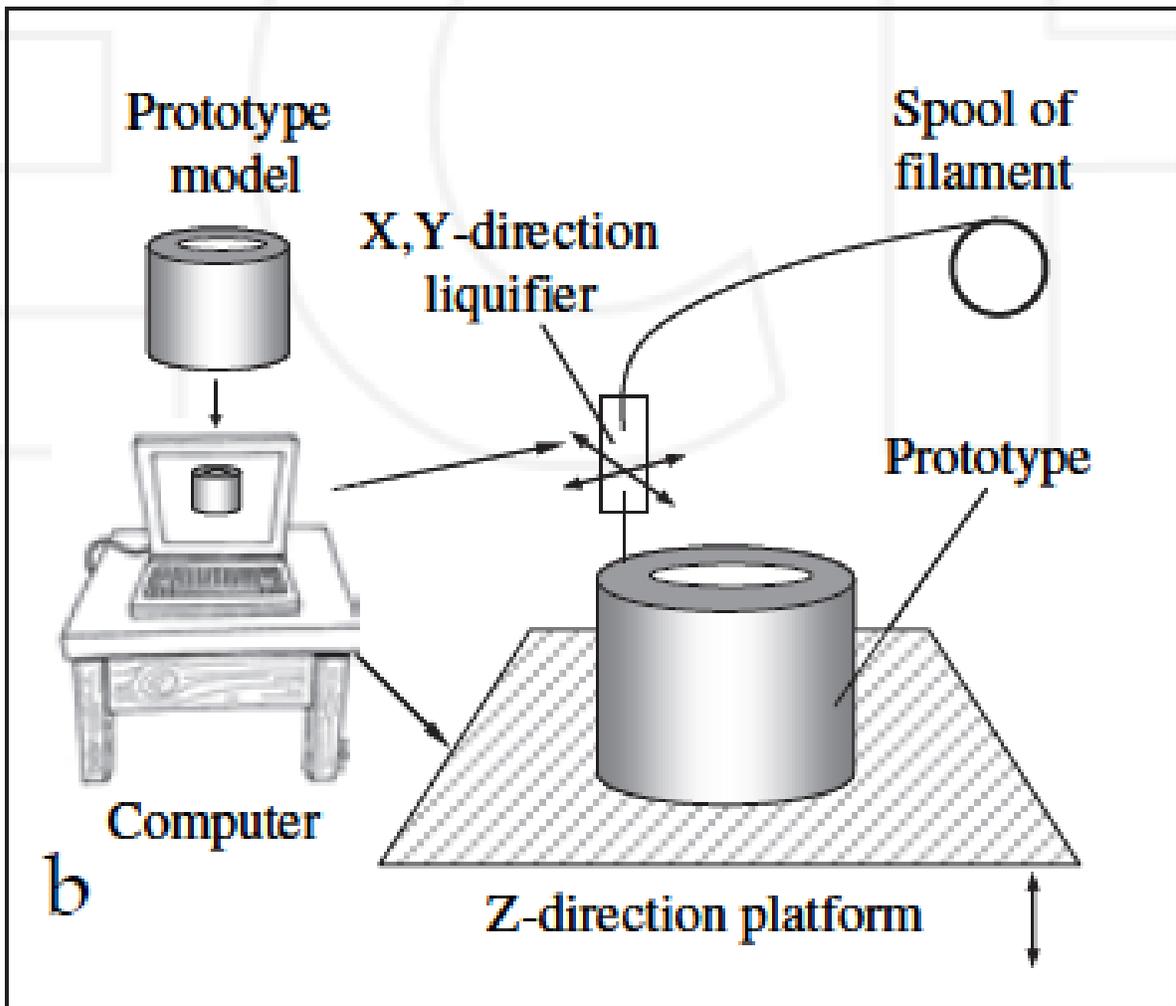
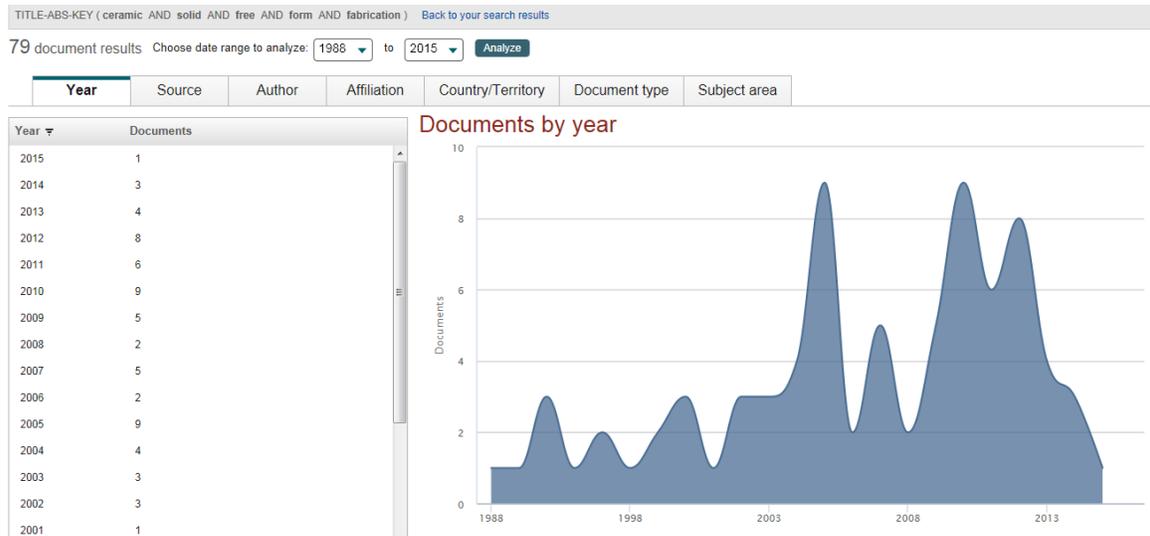


Ilustración 48. Esquema del equipo IMPRESIÓN 3D - solid free form fabrication (SFF)

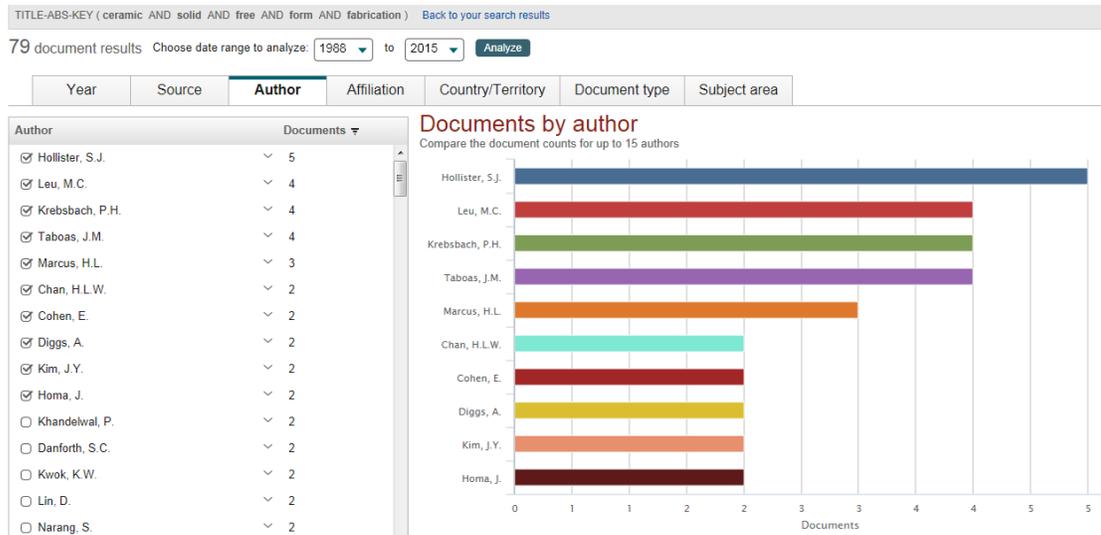
Fuente:(Tian et al., 2011)

En cuanto al desarrollo científico para esta técnica, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND solid AND free AND form AND fabrication) no muestra una tendencia de crecimiento leve en el número de publicaciones.



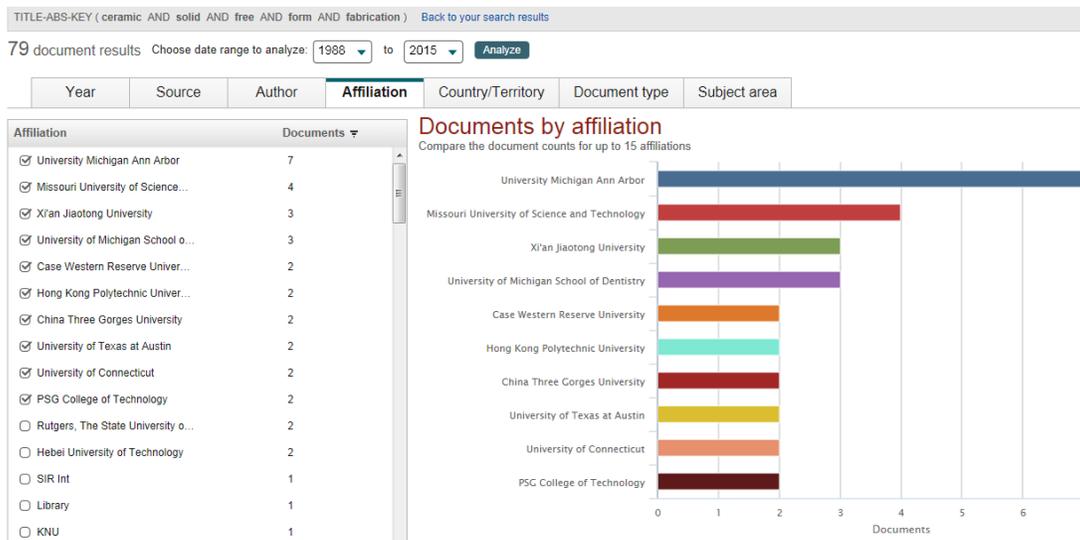
**Ilustración 49. Solid free form fabrication (SFF) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



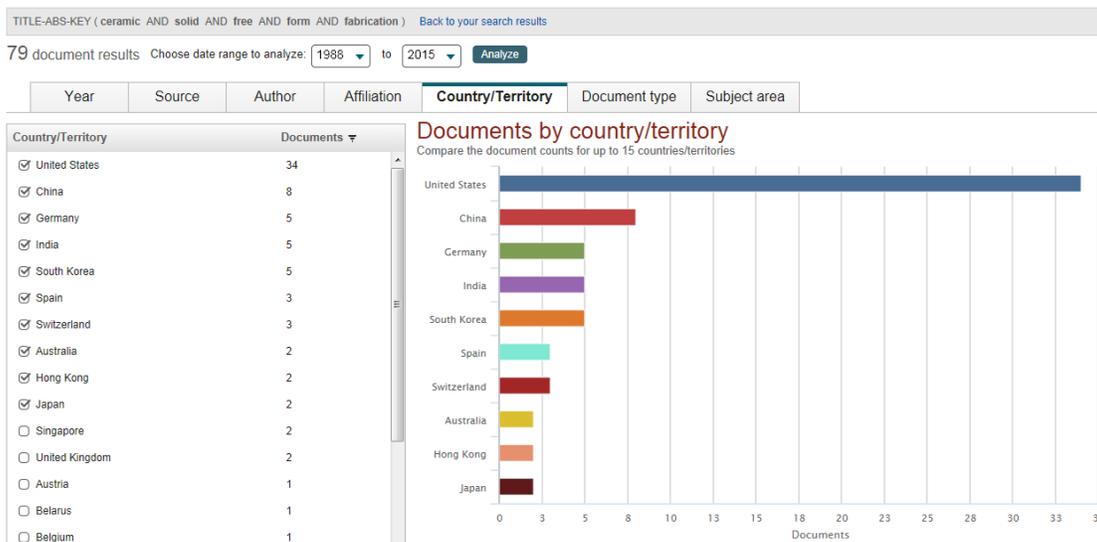
**Ilustración 50. Solid free form fabrication (SFF) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 51. Solid free form fabrication (SFF) Principales Instituciones.**

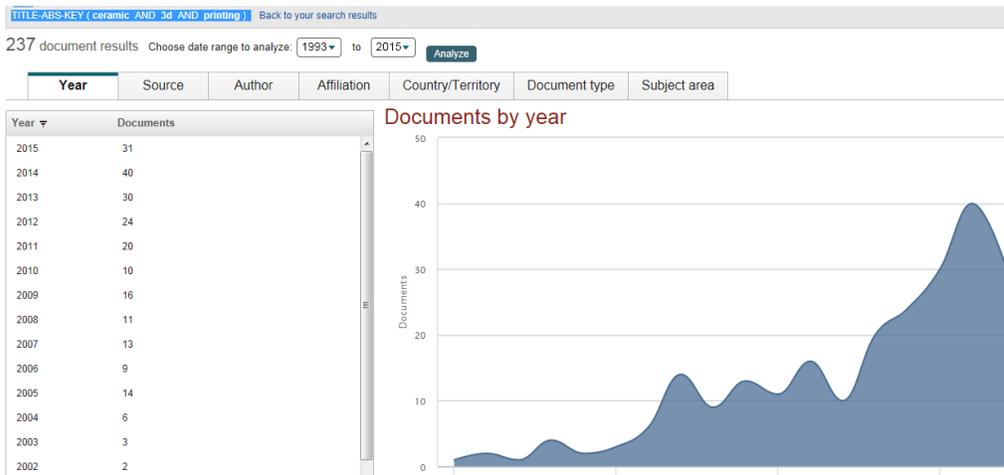
**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 52. Solid free form fabrication (SFF) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

Sin embargo en la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY ( ceramic AND 3d AND printing ) muestra una mayor tendencia creciente en el número de publicaciones.

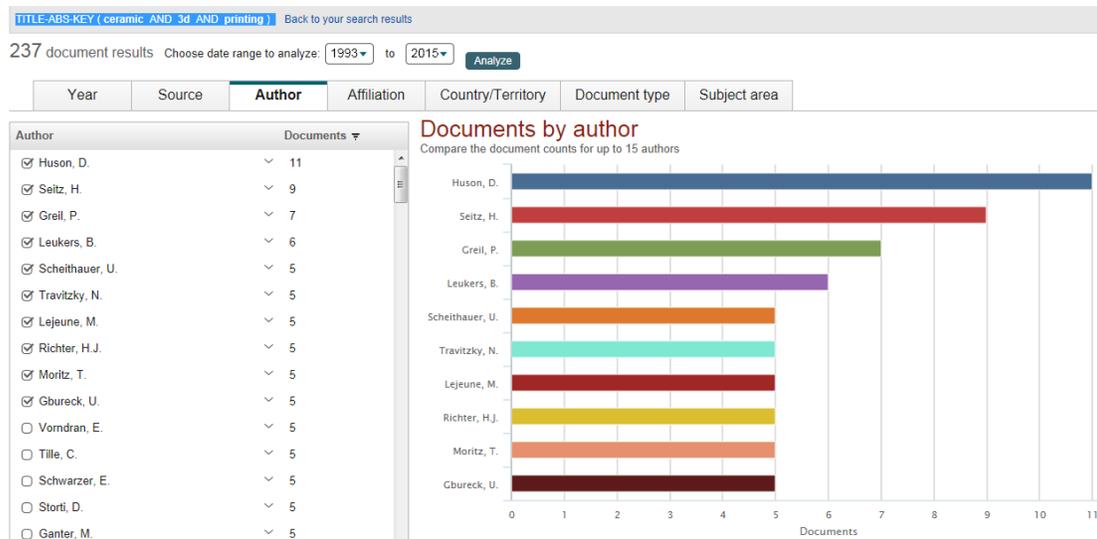


**Ilustración 53. 3D Printing (3DP) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

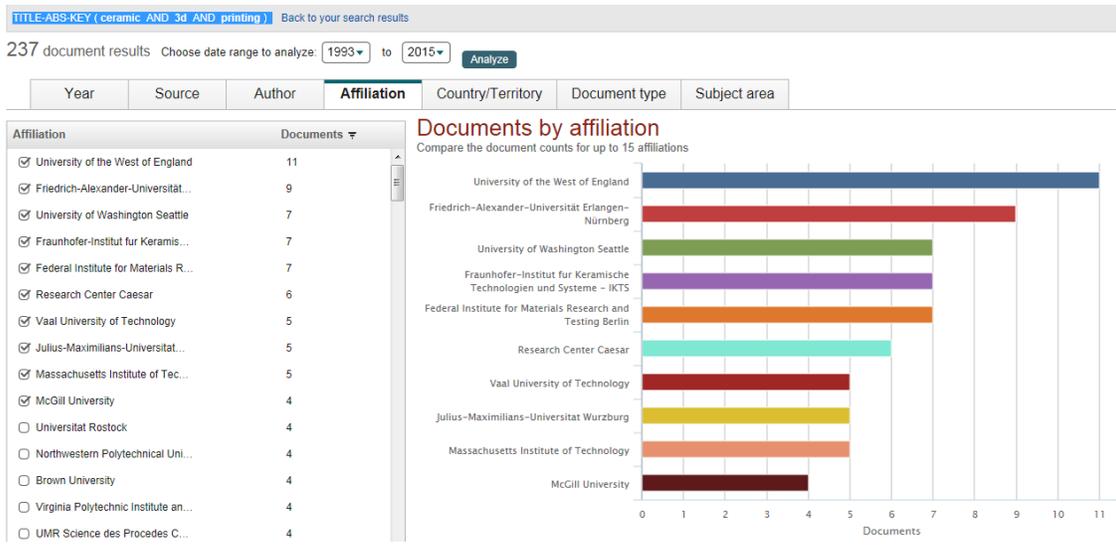
Los principales autores son:

- Huson, D. University of the West of England, Centre for Fine Print Research, Bristol, United Kingdom. Orientado al desarrollo de técnicas de fabricación y prototipado rápido para elementos cerámicos artísticos y tradicionales.
- Seitz, H. Universitat Rostock, Fluid Technology and Microfluidics, Rostock, Germany. Enfocado en la fabricación de elementos biocompatibles para uso en ortopedia.



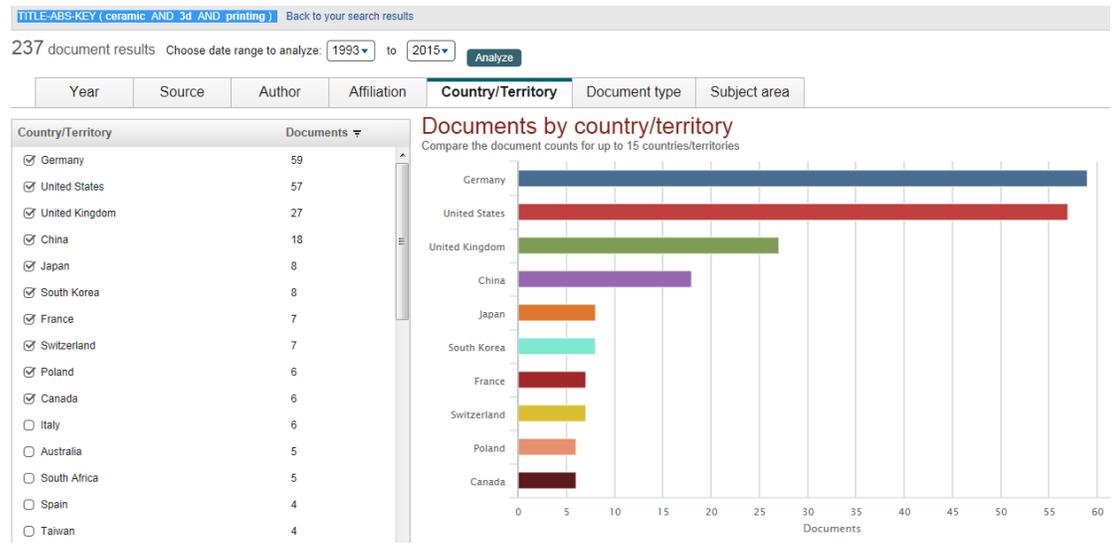
**Ilustración 54. 3D Printing (3DP) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustraci3n 55. 3D Printing (3DP) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustraci3n 56. 3D Printing (3DP) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## 2.13. MOLDEO POR INYECCIÓN - injection moulding (IM)

**Descripción del proceso:** Se inyecta a presión en un molde una dispersión de materiales cerámicos en un sistema de ligante termoplástico fundido, se enfría el molde hasta solidificar el ligante y se abre para extraer la pieza conformada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada debe pasar por un proceso térmico de eliminación del ligante, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Liu, Bo, Xie, Wu, & Yang, 2011; Medvedovski & Peltsman, 2012; Stanimirovic & Stanimirovic, 2012)

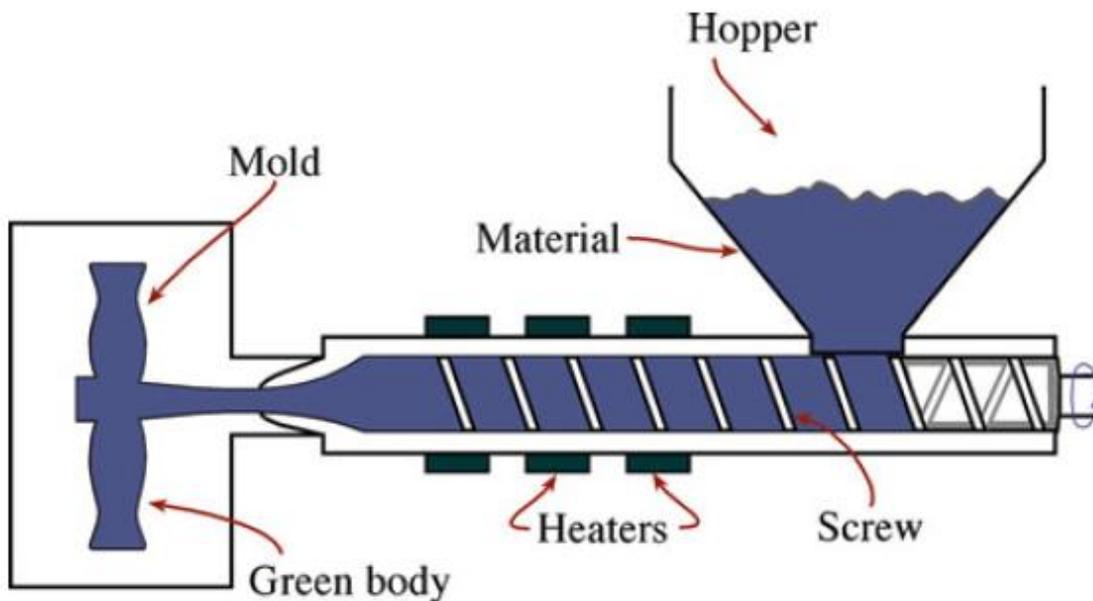
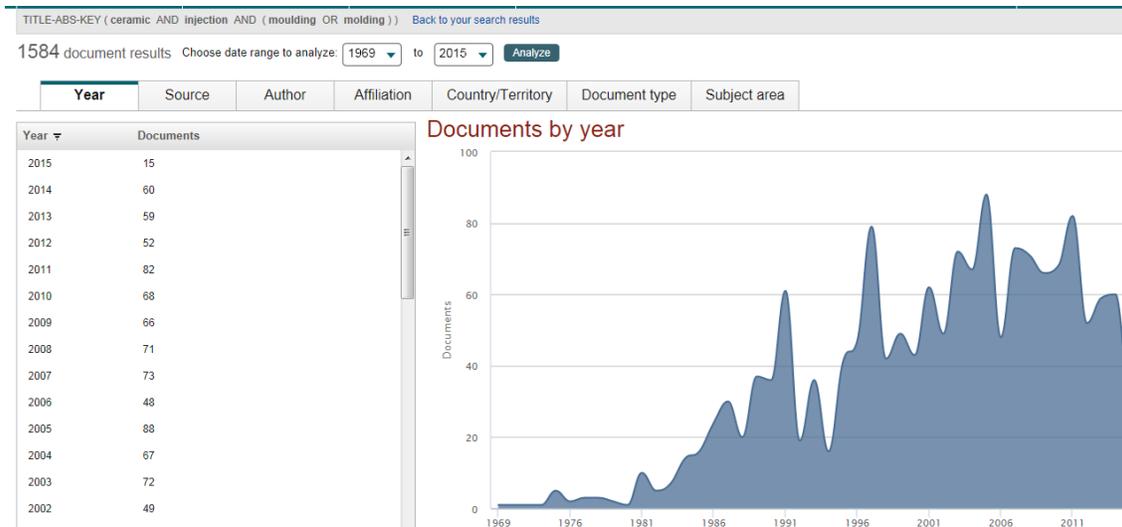


Ilustración 57. Esquema del equipo MOLDEO POR INYECCIÓN - injection moulding (IM)

**Fuente:**(Barry Carter & Grant Norton, 2013)

Este procedimiento aplicado ampliamente en la industria de materiales plásticos, con la diferencia de que se inyecta a presión un sólido cerámico suspendido en un líquido que puede ser una cera o polímero termoplástico fundido que se cristaliza al enfriarse la pieza y posteriormente debe ser eliminado durante la sinterización. Permite obtener piezas de gran precisión dimensional. (Ring, 1996)

En lo que respecta al desarrollo científico para la tecnología la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND injection AND (moulding OR molding)) muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones.

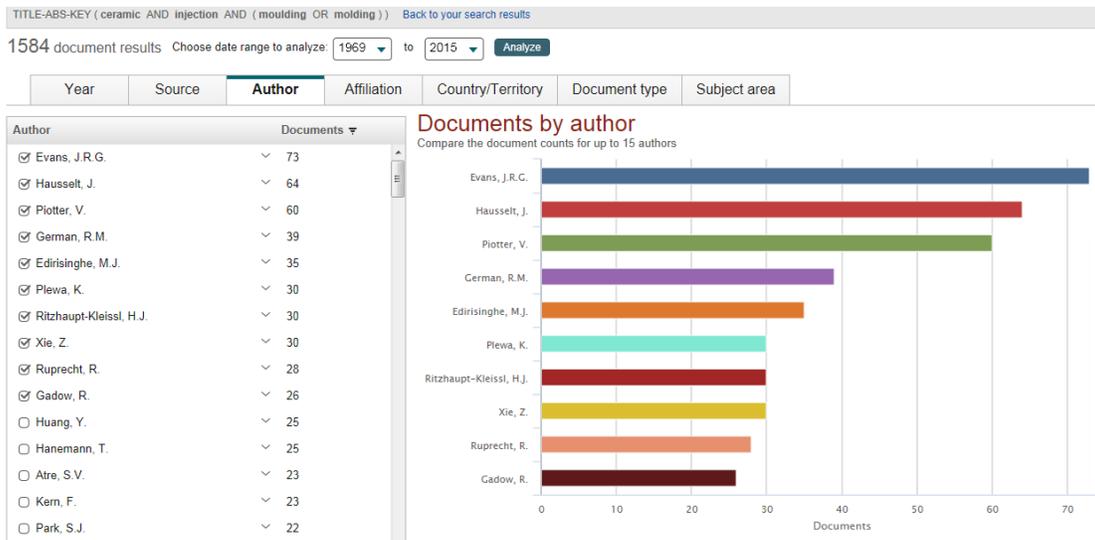


### **Injection moulding (IM) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

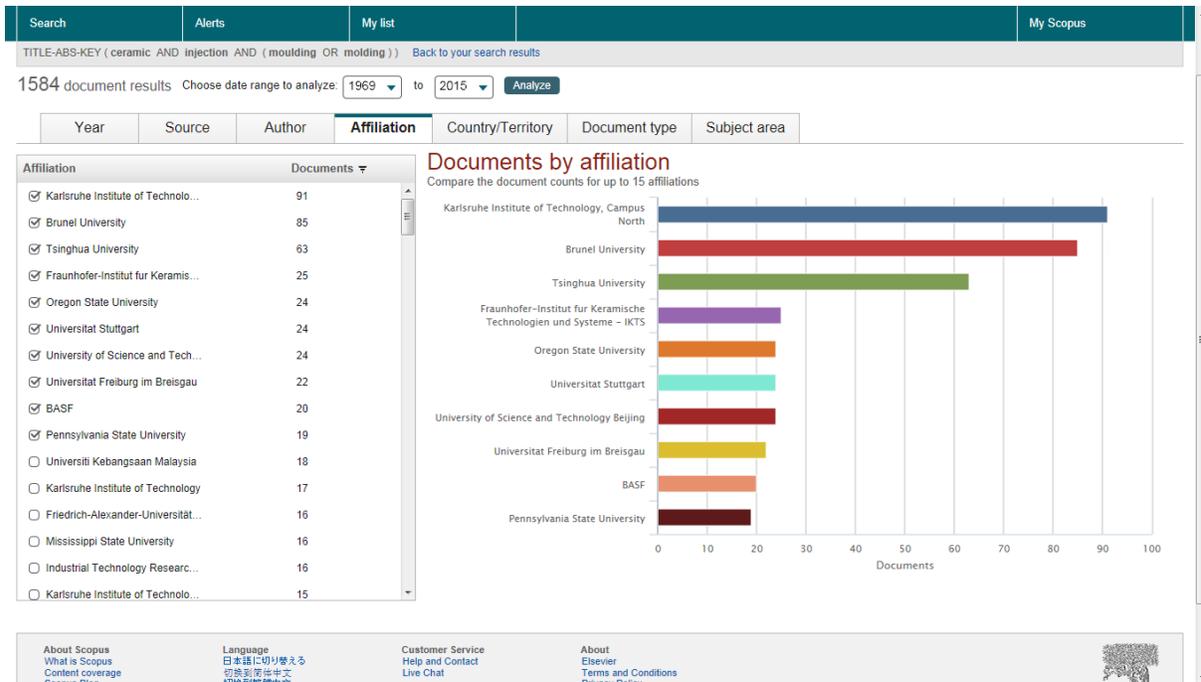
Los principales autores son:

- Evans, Julian R. G. UCL, Department of Chemistry, London, United Kingdom. Con investigación a la producción de compuestos cerámica y polímeros.
- Haußelt, Jürgen H. y Piötter, Volker. Karlsruhe Institute of Technology, Campus North, Institute for Applied Materials (IAM), Eggenstein-Leopoldshafen, Germany. Enfocados en la conformación de microcomponentes de alta precisión mediante la técnica de inyección.
- German, R. M. San Diego State University, College of Engineering, San Diego, United States. Investigando las propiedades de mezclas de polvos con polímeros para la aplicación de la técnica y la sinterización de los componentes.



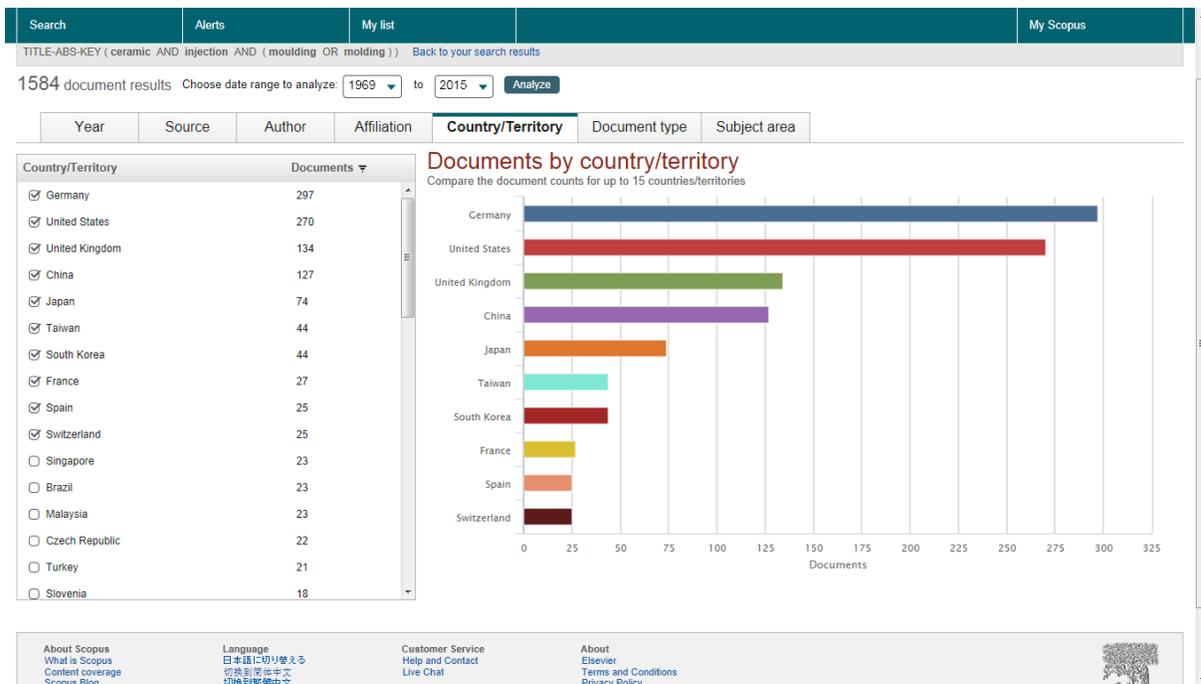
### Injection moulding (IM) Principales Autores.

Fuente: SCOPUS abril 2015.



### Injection moulding (IM) Principales Instituciones.

Fuente: SCOPUS abril 2015.



**Injection moulding (IM) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

**2.14. EXTRUSIÓN - Extrusion (E)**

**Descripción del proceso:** Se inyecta a presión a través de una boquilla una pasta dúctil de materiales cerámicos, conformando una pieza lineal continua, que se corta a intervalos definidos para extraer las piezas individuales conformadas. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Blackburn & Wilson, 2008; Evans, 2008)

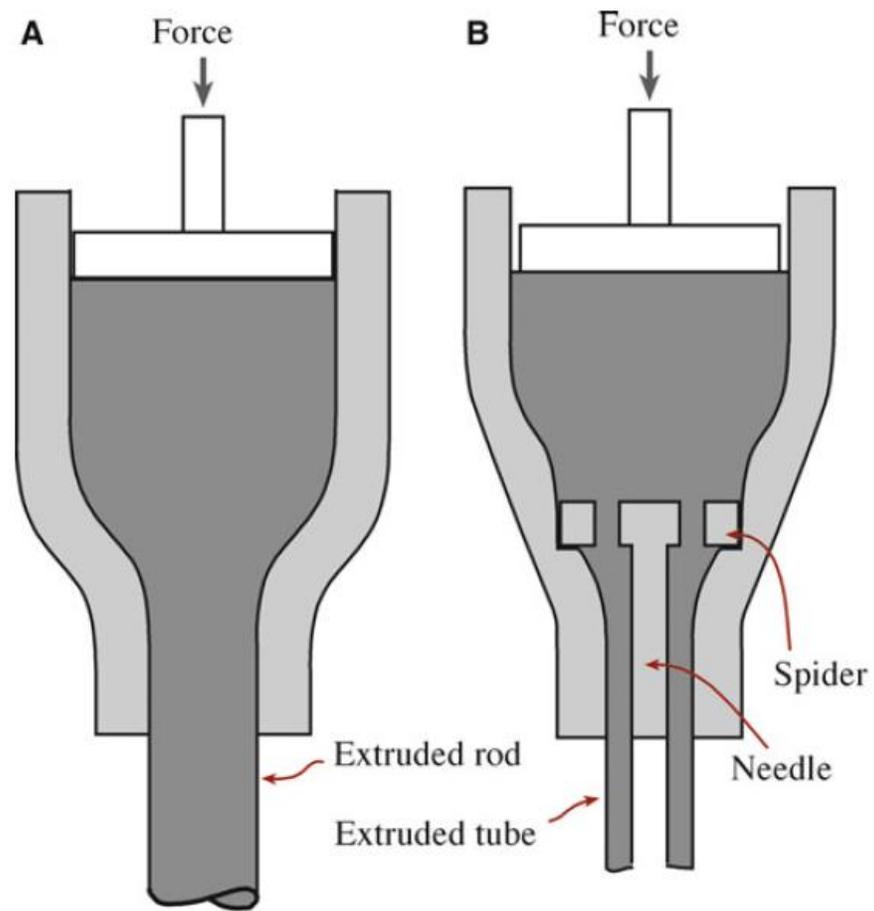
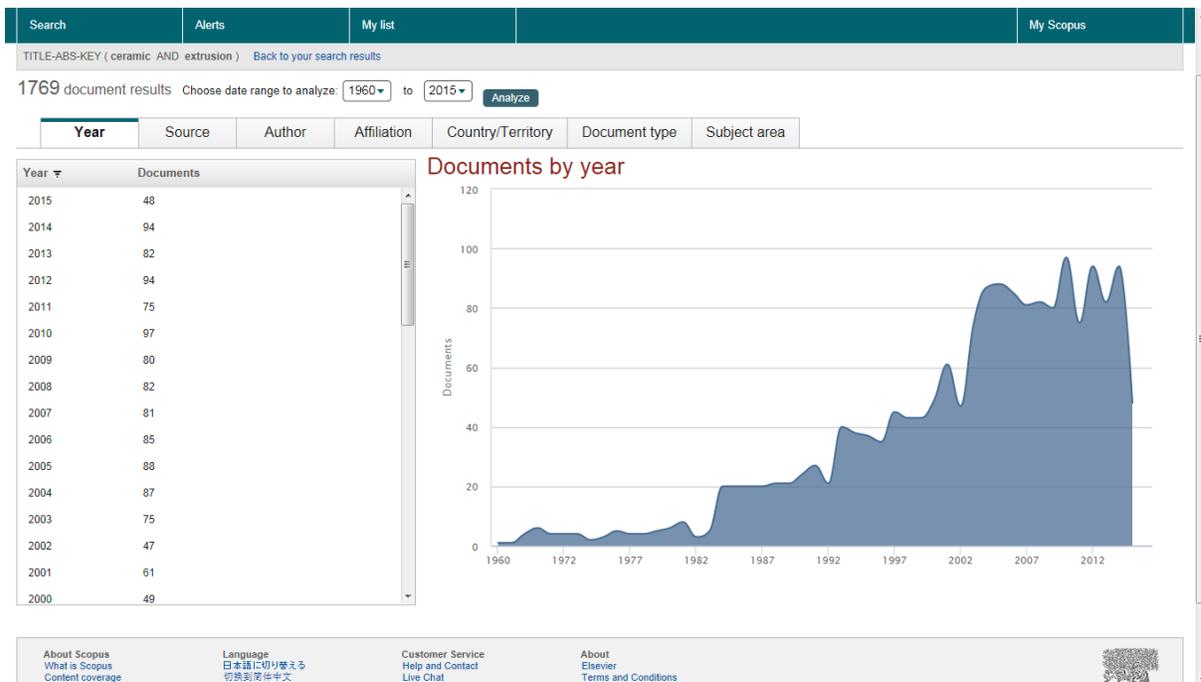


Ilustración 58. Esquema del equipo EXTRUSIÓN - Extrusion (E)

Fuente:(Barry Carter & Grant Norton, 2013)

En cuanto al desarrollo científico para la tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND extrusion) muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones.

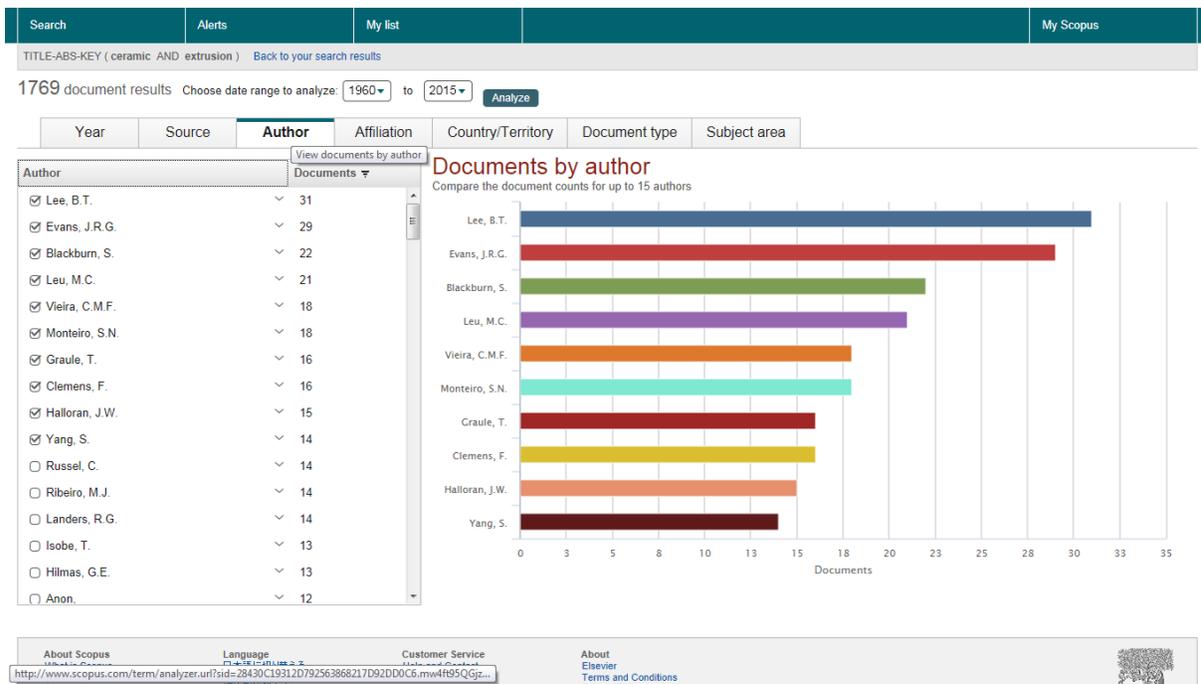


**Ilustración 59. Extrusión (E) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

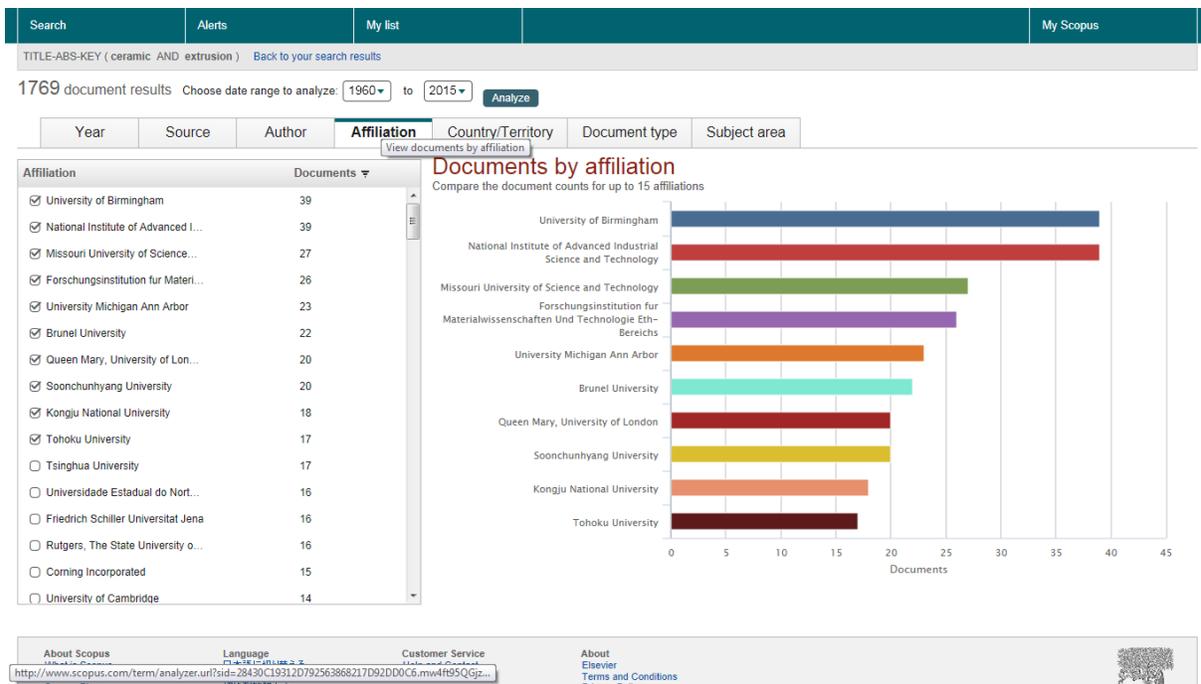
Los principales autores son:

- Lee, Byongtaek. Soonchunhyang University, College of Medicine, Asan, South Korea. Orientado a la investigación de la conformación de hueso artificial.
- Evans, Julian R.G. UCL, Department of Chemistry, London, United Kingdom. Investigando la conformación de estructuras en hidroxapatita mediante esta tecnología.
- Leu, M. C. Missouri University of Science and Technology, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Rolla, United States. Aplicando la técnica a la conformación de materiales por extrusión consolidado por congelación.



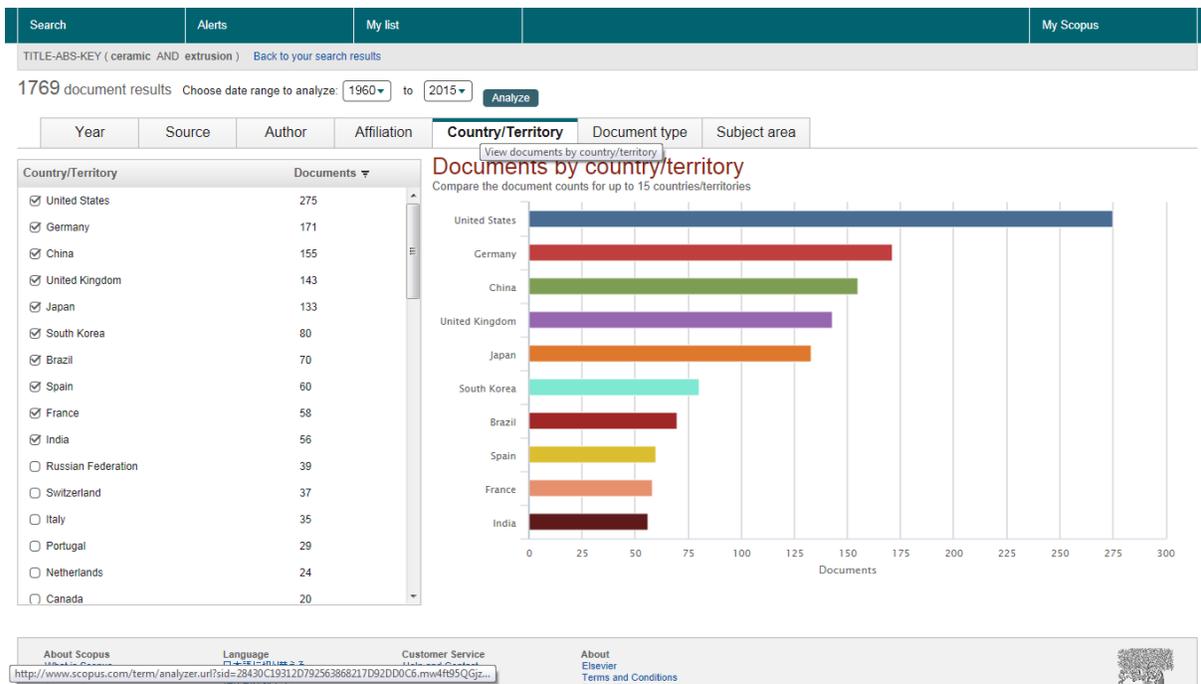
**Ilustración 60. Extrusión (E) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 61. Extrusión (E) Principales Instituciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**



**Ilustración 62. Extrusión (E) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## 2.15. PRENSADO ISOSTÁTICO - isostatic pressing (IP)

**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde flexible una mezcla seca de materiales cerámicos, el molde flexible se sumerge en un baño de aceite dentro de un pistón al que se le aplica alta presión uniforme en todos los sentidos, obligando a las partículas a unirse para conformar la pieza sólida. Se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (Battison, n.d.; Rajiv, Ashok, & Narendra, 2006)

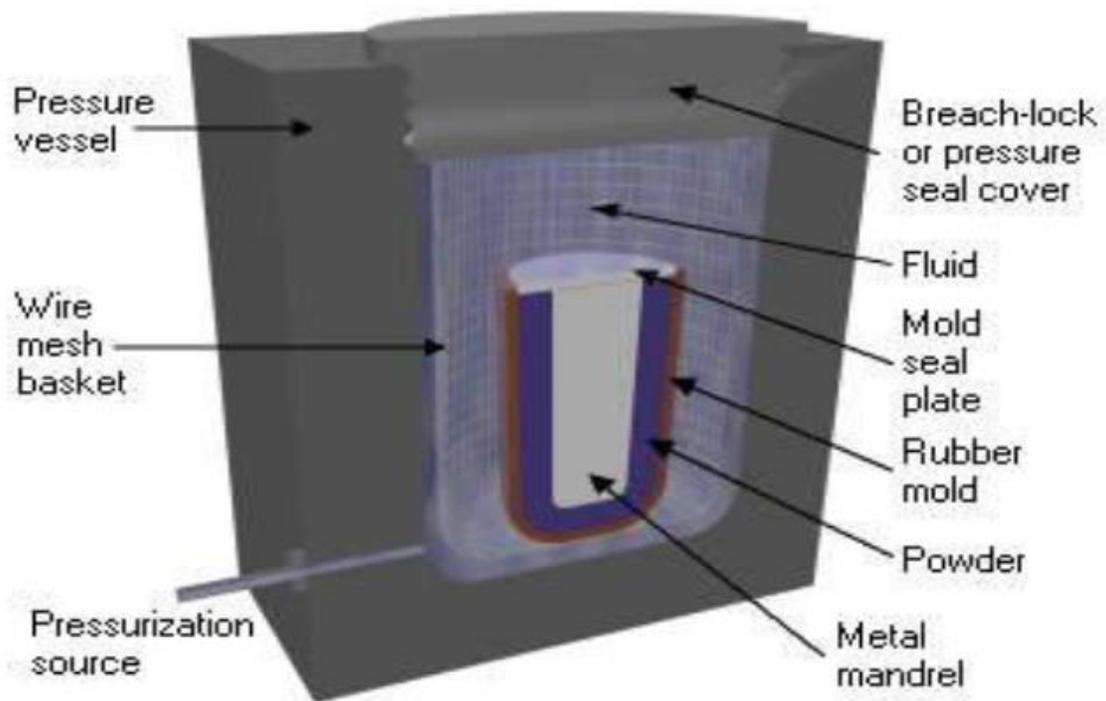
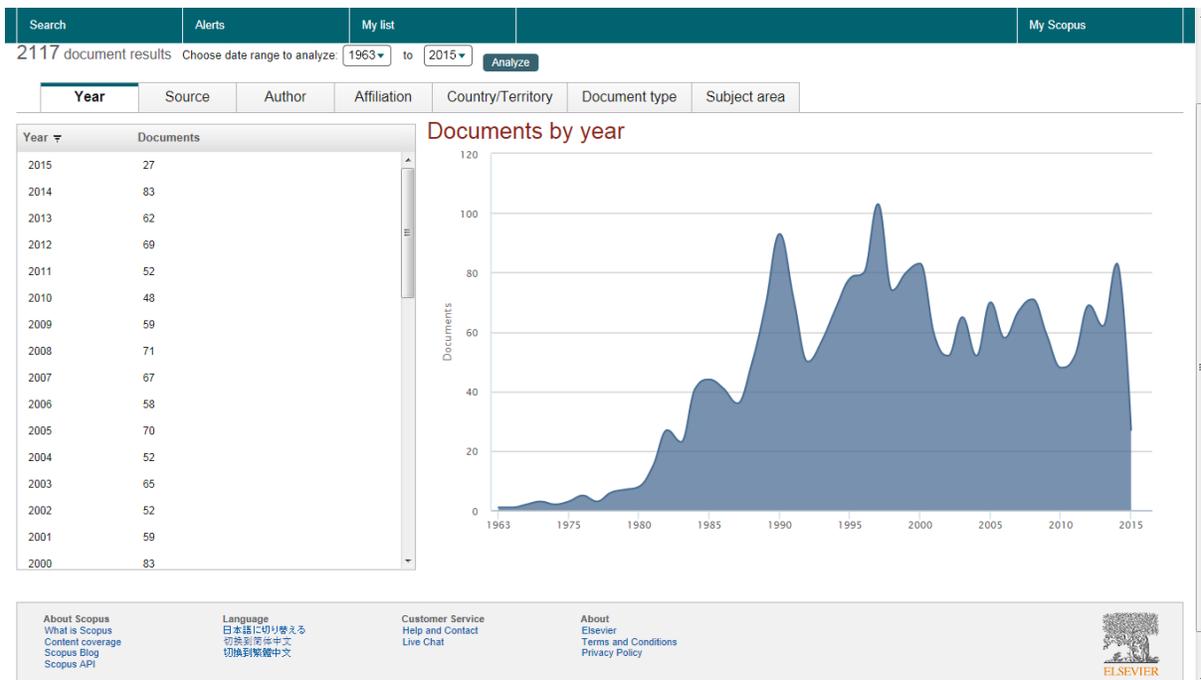


Ilustración 63. Esquema del equipo PRENSADO ISOSTÁTICO - isostatic pressing (IP)

Fuente: (Battison, n.d.)

En lo referente al desarrollo científico para esta tecnología, la búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND isostatic AND pressing) muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones.



**Ilustración 64. Isostatic pressing (IP) Tendencia publicaciones.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

Los principales autores son:

- Hirota, Ken. Doshisha University, Department of Molecular Chemistry and Biochemistry, Kyoto, Japan. Aplicado a la fabricación de ferritas y materiales de alta resistencia.
- Yamaguchi, Osamu. Doshisha University, Faculty of Engineering, Kyoto, Japan. Orientado al prensado isostático de alta temperatura con sinterización reactiva.
- Akimov, Gennady Ya. Donetsk Institute for Physics and Engineering National Academy of Sciences in Ukraine, Donetsk Institute for Physics and Engineering named after O. O. Galkin, Donetsk, Ukraine. Aplicado a la conformación de cerámicas en manganita y zirconia.

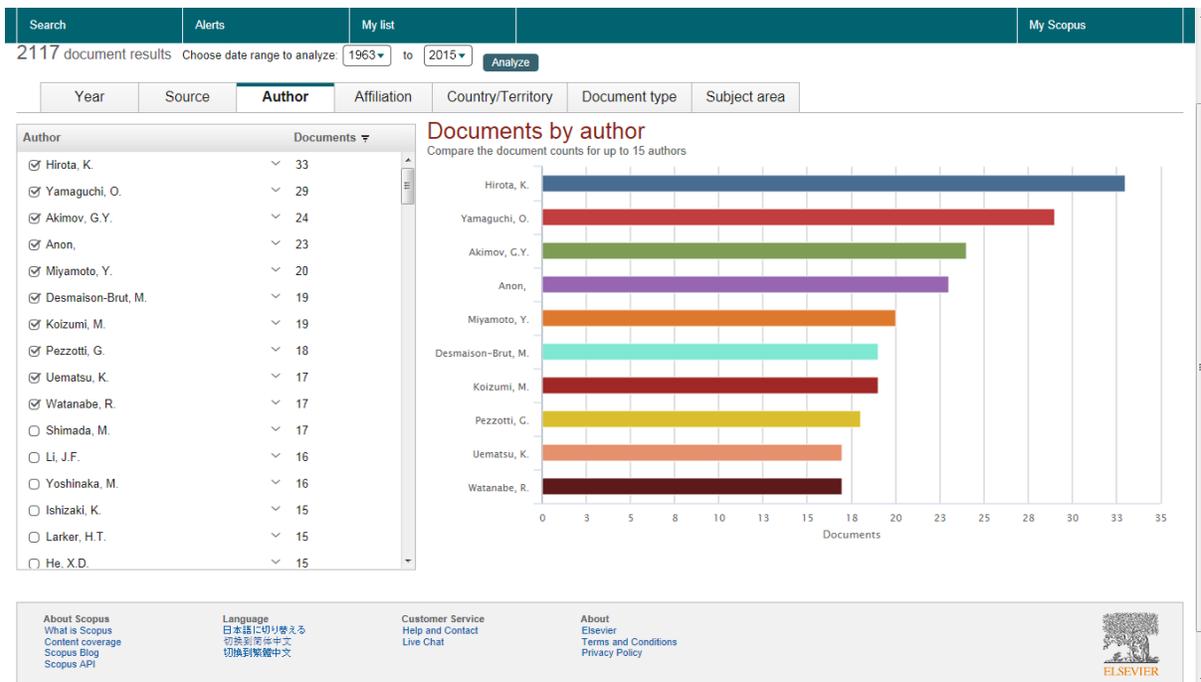


Ilustración 65. Isostatic pressing (IP) Principales Autores.

Fuente: SCOPUS abril 2015.

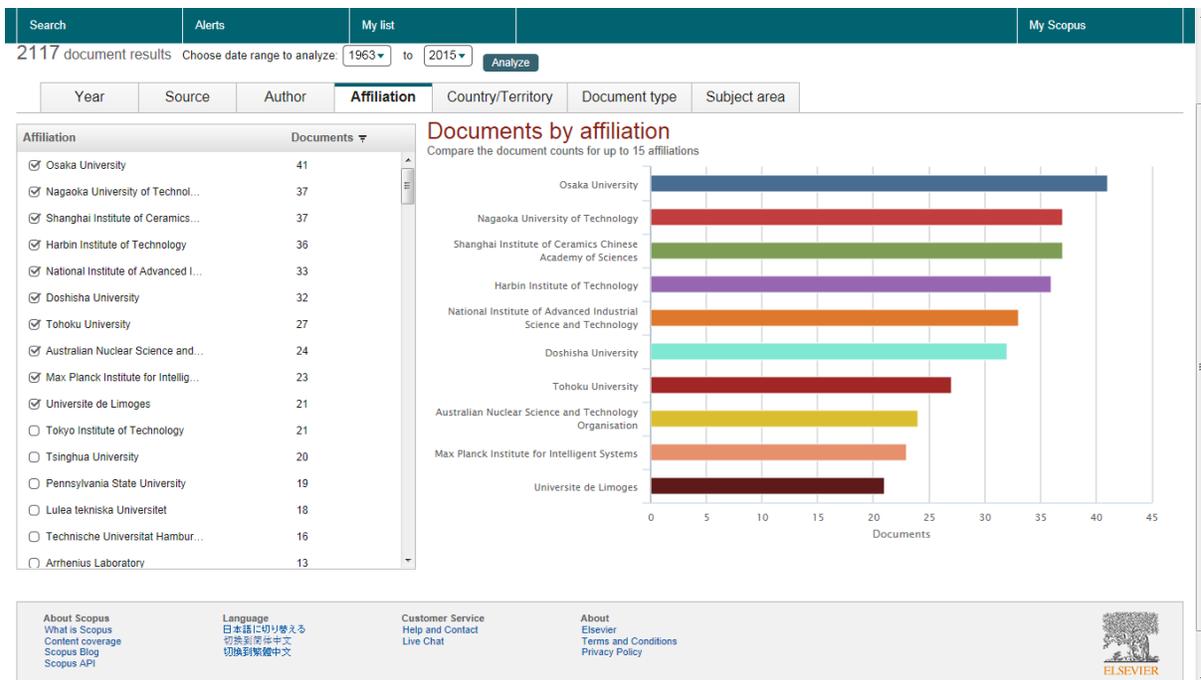
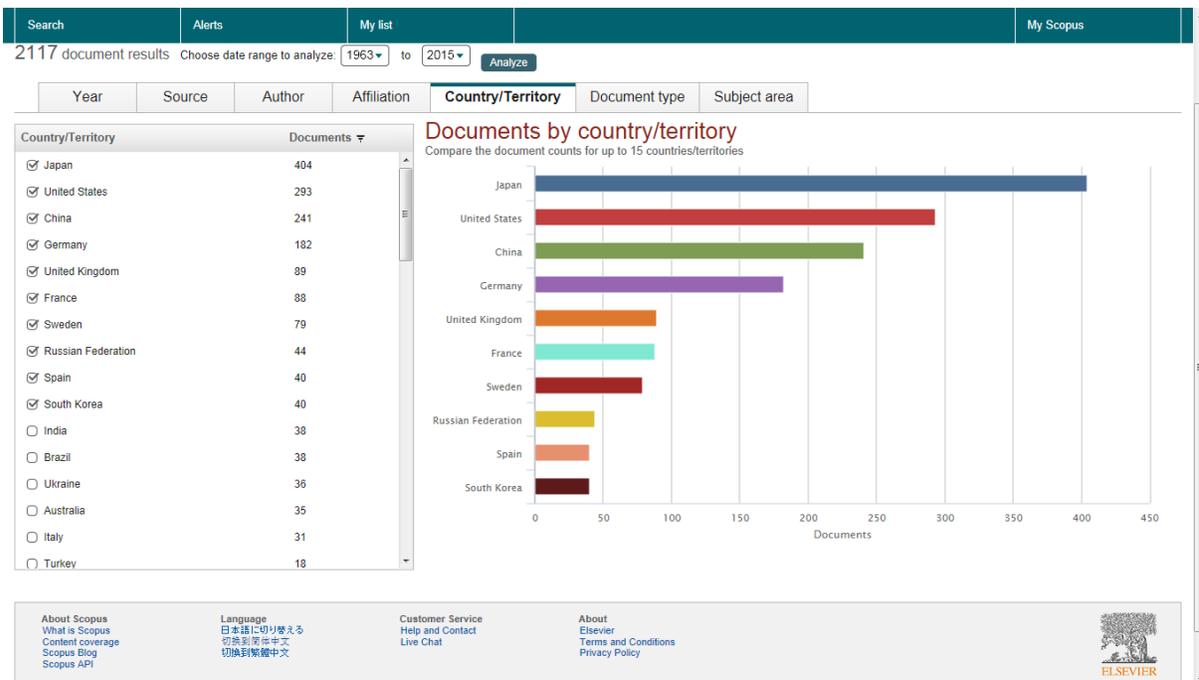


Ilustración 66. Isostatic pressing (IP) Principales Instituciones.

Fuente: SCOPUS abril 2015.

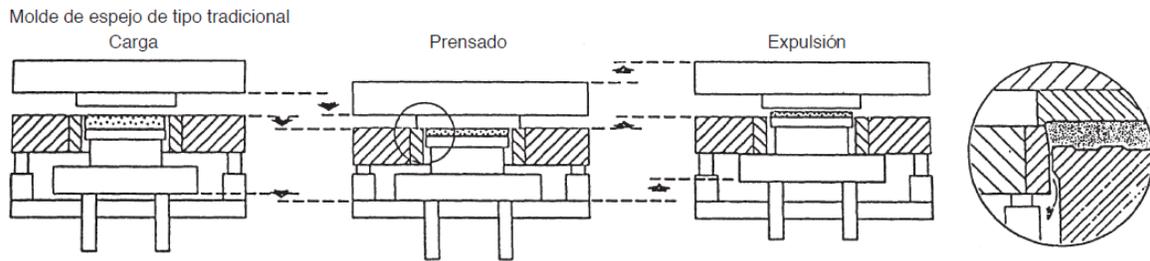


**Ilustración 67. Isostatic pressing (IP) Principales Países.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

## **2.16. PRENSADO EN SECO - Dry pressing (DP)**

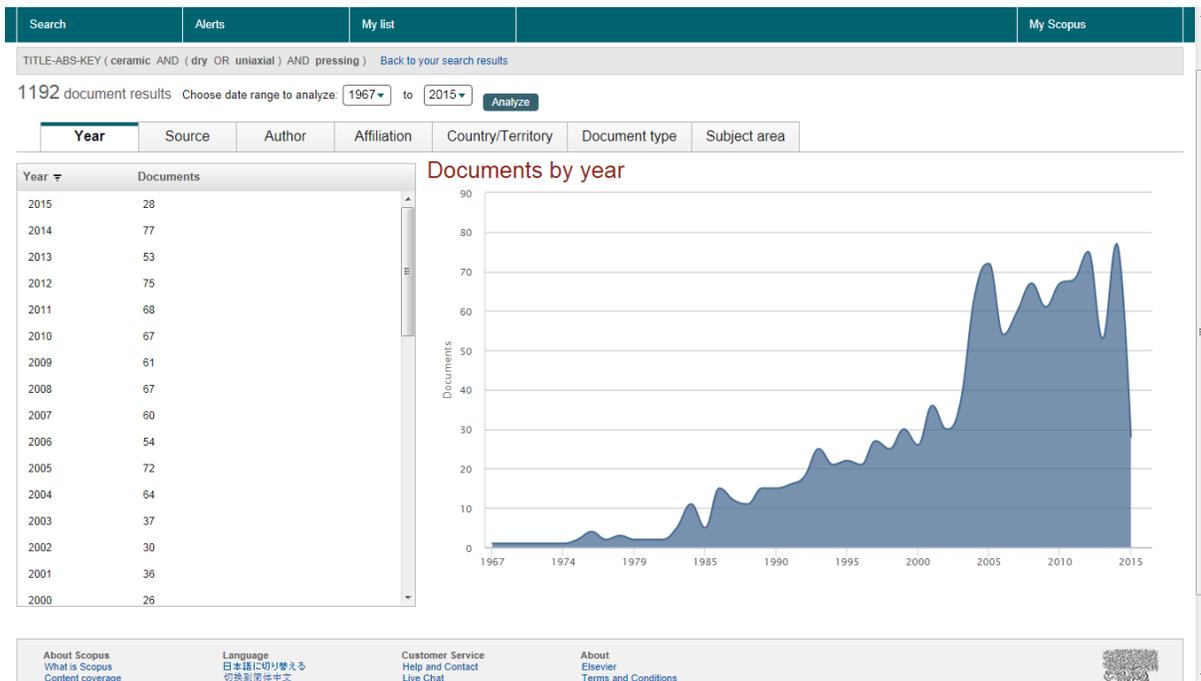
**Descripción del proceso:** Se vierte en un molde con dos de sus paredes móviles una mezcla seca de materiales cerámicos, se ejerce una alta presión en un sólo sentido mediante algún dispositivo mecánico o hidráulico, obligando a las partículas a unirse para conformar la pieza sólida. Se separan las partes del molde para expulsar la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado. Ver: (SACMI & ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TÉCNICOS CERAMICOS, 2004)



**Ilustración 68. Esquema del equipo PRENSADO EN SECO - Dry pressing (DP)**

Fuente: (SACMI & ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TÉCNICOS CERAMICOS, 2004)

La búsqueda para el término TITLE-ABS-KEY (ceramic AND (dry OR uniaxial ) AND pressing ) muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones.



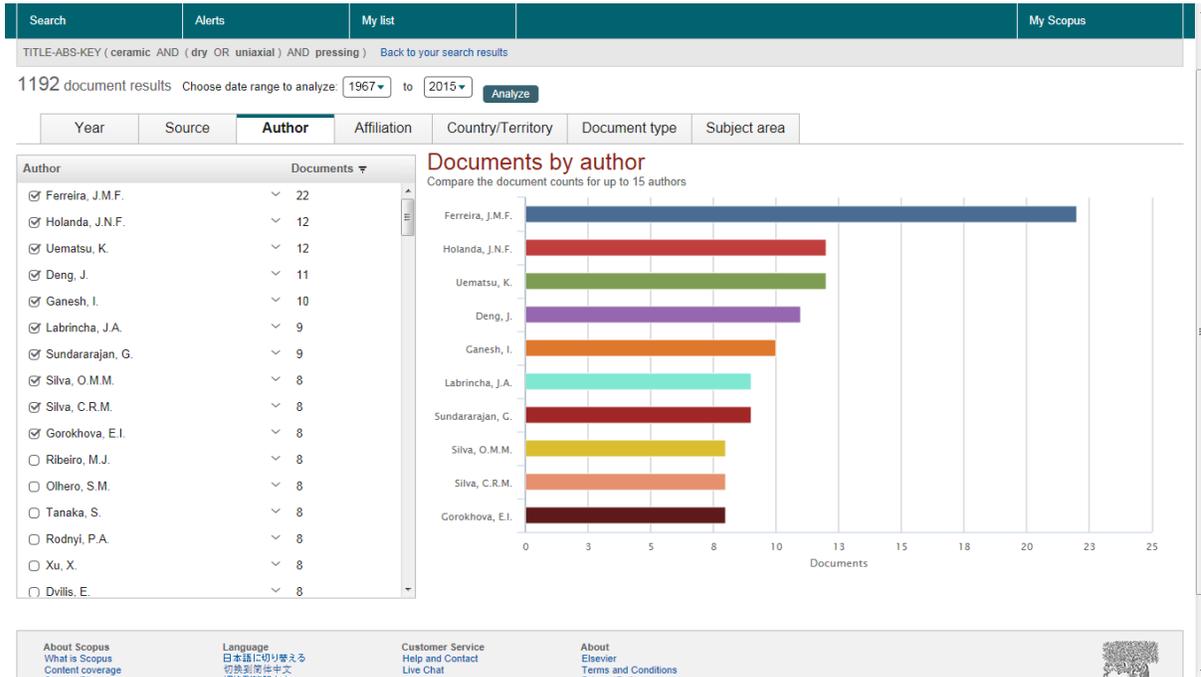
**Ilustración 69. Dry pressing (DP) Tendencia publicaciones.**

Fuente: SCOPUS abril 2015.

Los principales autores son:

- Ferreira, J. M. F. Centro de Investigacao em Materiais Ceramicos e Compositos, Department of Materials and Ceramic Engineering, Aveiro, Portugal. Aplicado a la fabricación de materiales complejos.

- Holanda, José Nilson França. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Group of Ceramic Materials, Campos dos Goitacazes, Brazil. Enfocado al procesamiento de cerámicas con reciclado de residuos industriales.
- Uematsu, Keizo. Nagaoka University of Technology, Department of Materials Science and Technology, Nagaoka, Japan. Analizando el procesamiento y compactación de alumina.



**Ilustración 70. Dry pressing (DP) Principales Autores.**

**Fuente: SCOPUS abril 2015.**

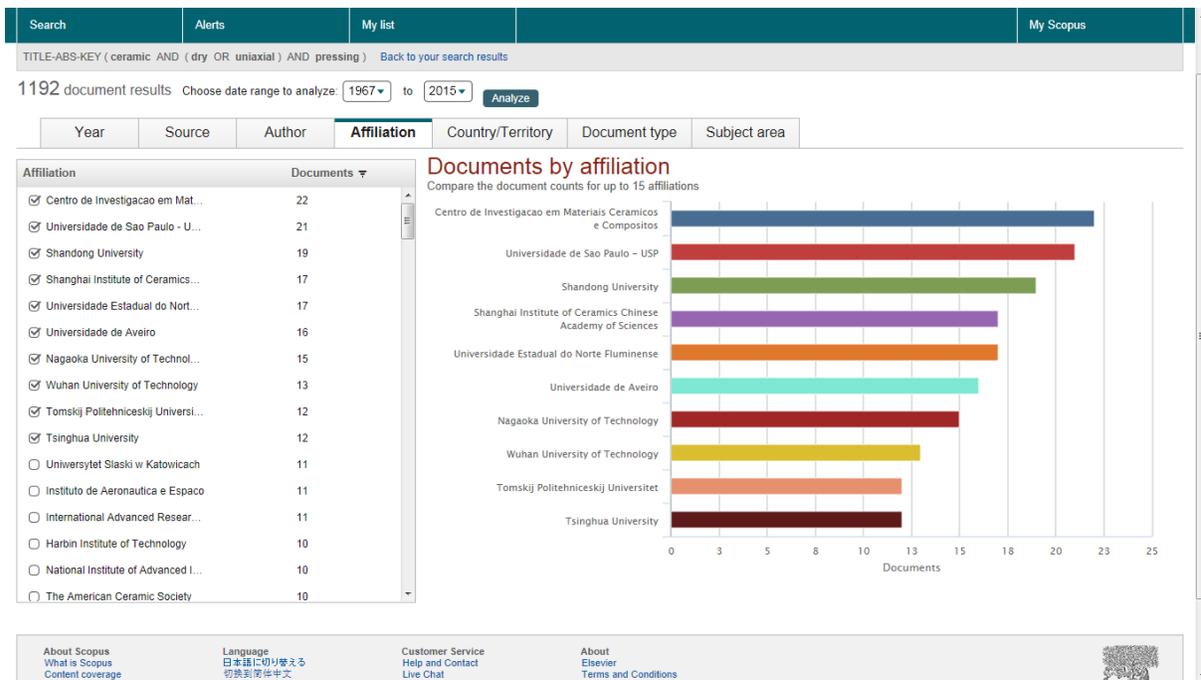


Ilustración 71. Dry pressing (DP) Principales Instituciones.

Fuente: SCOPUS abril 2015.

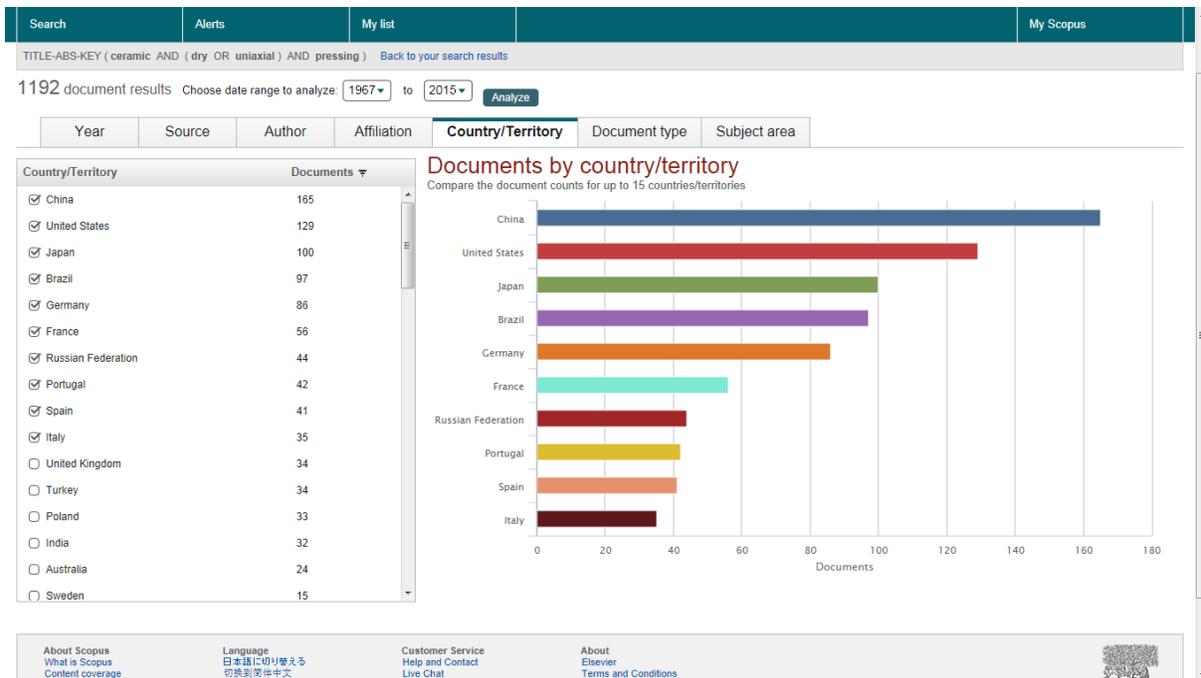


Ilustración 72. Dry pressing (DP) Principales Países.

Fuente: SCOPUS abril 2015.

### 3. ANÁLISIS Y ORGANIZACIÓN

Sobre las 16 tecnologías identificadas a partir del análisis de los artículos académicos, se pueden hacer los siguientes comentarios en cuanto a su difusión y tendencias en investigación:

- Las tecnologías de Slip Casting (SC), siendo actualmente la tecnología estándar para la producción industrial en la cerámica tradicional tanto para la producción de vajillas como artículos de porcelana sanitaria, mantiene su vigencia a pesar de ser una tecnología antigua y madura, se continúa observando mención de la misma en artículos académicos, con una tendencia creciente, interpreto que este comportamiento se debe más a que en el campo de la investigación de materiales es la tecnología con mayor la facilidad de implementar cuando se requiere la conformación de materiales cerámicos para evaluar sus propiedades.
- Por otro lado, para el Pressure Slip Casting (PSC), a pesar de ser la tecnología que a nivel industrial estaría reemplazando el Slip Casting (SC), no se observa una gran actividad investigativa para la cual se haga mención de la misma, por lo cual podría concluirse que si bien comercialmente aún se encuentra en expansión, no hay un gran auge de investigación alrededor de la misma.
- Las tecnologías del Centrifugal Slip Casting (CSC) y Tape Casting (TC) puede considerarse como una aplicaciones derivada de las anteriores, para nicho de productos caracterizados por su simetría alrededor de un eje de rotación o su planaridad, por lo que no se observa un gran interés en la literatura y a nivel de la industria sólo se evidencia su aplicación en la fabricación postes prefabricados de concreto para la primera y algunas aplicaciones electrónicas en la segunda.
- Para la tecnología de Gel casting (GC) se identifica el único caso en el que se observa un altísimo interés en la investigación, reflejado en el crecimiento explosivo de menciones en la literatura, siendo la única que supera las 100 anuales en una tendencia creciente sostenida hasta llegar a superar las 800 menciones, tal actividad puede llevar a pensar que esta sea una tecnología candidata para su transferencia al campo de la cerámica tradicional en la cual no se conocen aplicaciones, pudiéndose para este efecto analizar en conjunto con otras tecnologías (Direct Coagulation Casting (DCC), Hydrolysis Assisted Solidification (HAS), Temperature Induced Forming (TIF), In situ Coagulation Rotary Molding (ICRM)) que podríamos denominar de “colaje reactivo”, en las cuales una reacción química (sea orgánica o inorgánica) provoca la consolidación de la suspensión cerámica sea por la gelificación o polimerización de un aditivo o

por la generación de cambios en el equilibrio electroquímico que conlleven a la consolidación de las partículas en suspensión.

- En la Solid Free Form Fabrication (SFF), si bien bajo este nombre no se evidencia un gran interés en investigación, se observa una tendencia creciente más clara al usar el término 3D Printing (3DP), esto sumado a la evidencia de que el tema de la manufactura aditiva marca una fuerte tendencia y que el uso de la modelación digital ya está siendo aplicado para el diseño y fabricación de moldes en el campo de la cerámica tradicional, indican que estas tecnologías deberán ser analizadas para su transferencia a la conformación directa de las piezas cerámicas.
- Para el Injection Molding (IM) y el Isostatic Pressing (IP) se observa también un interés moderadamente creciente, sin que esta técnica sea actualmente de amplia difusión en la fabricación de objetos para la cerámica tradicional, por lo que puede interpretarse que su uso está más relacionado con la obtención de partes de alto valor agregado para la cerámica técnica por las altas inversiones de capital requeridas para los mismos.
- Otras tecnologías maduras como la Extrusion (E) y el Dry pressing (DP) son de amplia aplicación en la industria de la cerámica tradicional para la fabricación de materiales de construcción como ladrillos, baldosas y algunos elementos de vajillas relativamente planos, observándose un interés moderadamente creciente en la investigación alrededor de las mismas.
- Las tecnologías de Freeze Casting (FC) y Electrophoretic Deposition (EPD) tienen un interés moderado en la literatura, asociado a la producción de materiales porosos o compuestos multicapa de interés en ciertos nichos de aplicación en medicina.

Si bien de esta manera podemos identificar de forma cualitativa un interés diferenciado entre las tecnologías para su transferencia al campo de la cerámica tradicional, para el cumplimiento de los objetivos de este trabajo se considera necesaria la aplicación de herramientas que permitan la selección de las tecnologías con algún enfoque cuantitativo que las evalúe acorde con los atributos requeridos en dicha industria, lo que se procederá a hacer en la etapa siguiente de este estudio.



## 4. INTELIGENCIA

### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD

Se plantea buscar mediante alguna herramienta de análisis, escogiendo entre las alternativas tecnológicas identificadas en el proceso de búsqueda y captación, la que para el colaje de productos cerámicos tradicionales permita desarrollar un proceso industrial en el cual se solucionen de forma total o parcial las deficiencias observadas en la tecnología actual en uso, logrando así:

- Ampliar las posibilidades de diseño de producto, mejorar la precisión y estabilidad dimensional e incrementar el valor percibido por el consumidor
- Reducir el tiempo de formación por pieza, incrementar el número de ciclos de producción consecutivos que se pueden ejecutar sin recuperar el molde, eliminando tanto tiempos de recuperación como los de cambio de moldura, para una mayor productividad de equipos y operarios.
- Requerir menos moldes por línea para un mismo volumen de producción, minimizando el área necesaria y los desplazamientos en la operación.
- Reducir el peso de los moldes generando una menor carga ergonómica al operario y menos riesgos ocupacionales.
- Incrementar la sostenibilidad ambiental del proceso reduciendo las huellas de carbono e hídrica y la generando menos reproceso de residuos sólidos por disposición de moldes.
- Generar piezas con alta resistencia mecánica en crudo, a fin de facilitar la manipulación de las piezas y reduciendo la generación de roturas por golpes durante la misma.
- Bajar el espesor de pared de las piezas para reducir el costo por consumo de material.
- Mejorar la homogeneidad en humedad y densidad de las piezas, y minimizando la incidencia de defectos generados por la operación.
- Minimizar la necesidad operaciones de acabado en crudo.
- Formular las suspensiones cerámicas usando materiales en su mayor porcentaje de origen natural y por tanto con composición y propiedades en los rangos de variabilidad que hoy son aceptados en la industria

## **4.2. HERRAMIENTAS DE TOMA DE DECISIONES**

Ante la necesidad de identificar entre varias alternativas la que mejor se ajusta a la necesidad planteada, se hace evidente la importancia de tener una herramienta que permita priorizar y seleccionar. En aquellos casos en que los que existe poca incertidumbre sobre el resultado final de la alternativa, lo más recomendable es un análisis económico con el que se evalúa la rentabilidad de cada uno de las opciones, por medio de un índice financiero como el ROI (Return of Investment) o el período de recuperación de la inversión (pay back), comparándolos frente a la tasa de rentabilidad que obtendría la inversión en un banco (Castells & Valls Pasola, 2009).

En aquellos casos en donde la incertidumbre del resultado no permite tener certeza sobre el resultado económico de cada alternativa, la comparación debe hacerse calificando múltiples criterios para tomar la decisión.

## **4.3. LA MATRIZ DE DECISIÓN**

Para este tipo de análisis es posible usar una forma simple de Matriz de Decisión (George, Rowlands, Price, & Maxey, 2004; Tague, 2004) que permite calificar cada alternativa según diferentes criterios a los cuales se les ha asignado un peso de ponderación según su importancia para el logro del objetivo, el cual se multiplica por la calificación individual de la alternativa en dicho criterio. De la suma aritmética de estos resultados se obtiene un total ponderado para cada alternativa según el cual es posible ordenar para priorizar.

Esta metodología es aplicable en escenarios en los que a pesar de no tener una certeza que permita tomar una decisión económica, se tiene disponible la información sobre las diferentes alternativas que permita compararlas a todas simultáneamente permitiendo hacer una correcta calificación para cada criterio. Es también fundamental tener una clara asignación del peso que cada criterio tiene dentro de la decisión. Cuando se tiene incertidumbre en cualquiera de los dos aspectos es necesario el uso de otras herramientas de decisión que facilitan este tipo de evaluaciones.

**Decision Matrix: Long Wait Time**

Criteria →	Customer pain 5	Ease to solve 2	Effect on other systems 1	Speed to solve 2	
↓ Problems					
Customers wait for host	High—Nothing else for customer to do $3 \times 5 = 15$	Medium—Involves host and bussers $2 \times 2 = 4$	High—Gets customer off to bad start $3 \times 1 = 3$	High—Observations show adequate empty tables $3 \times 2 = 6$	28
Customers wait for waiter	Medium—Customers can eat breadsticks $2 \times 5 = 10$	Medium—Involves host and waiters $2 \times 2 = 4$	Medium—Customer still feels unattended $2 \times 1 = 2$	Low—Waiters involved in many activities $1 \times 2 = 2$	18
Customers wait for food	Medium—Ambiance is nice $2 \times 5 = 10$	Low—Involves waiters and kitchen $1 \times 2 = 2$	Medium—Might result in extra trips to kitchen for water $2 \times 1 = 2$	Low—Kitchen is design/space limited $1 \times 2 = 2$	16
Customers wait for check	Low—Customers can relax over coffee, mints $1 \times 5 = 5$	Medium—Involves waiters and host $2 \times 2 = 4$	Medium—Customers waiting for tables might notice $2 \times 1 = 2$	Low—Computerized ticket system is needed $1 \times 2 = 2$	13

**Ilustración 73. Ejemplo Matriz de Decisión.**

**Fuente:** (Tague, 2004)

#### 4.4. HERRAMIENTAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO

El campo de la MCDM (Multi-Criteria Decision Making) cubre la toma de decisiones en aquellos problemas complejos en los que se presentan varios criterios para tomar decisiones, los cuales a menudo entran en conflicto unos con otros, evaluándose según unidades de medición que no son comparativas o incluso no pudiéndose evaluar en forma cuantitativa por ser atributos que en cierta forma son subjetivos. Se han desarrollado diversas metodologías para ejecutar este tipo de análisis las cuales han sido incorporadas en herramientas informáticas que soportan su implementación (Baizyldayeva & Vlasov, 2013; Fülöp, 2001; Mardani, Jusoh, & Zavadskas, 2015; Wiecek, Matthiasehrgott, Fadel, & Rui Figueira, 2008):

- AIRM (Aggregated Indices Randomization Method)(Hovanov, Yudaeva, & Hovanov, 2009).
- AHP (Analytic hierarchy process)(Bushan & Rai, 2004; R. W. Saaty, 1987; Subramanian & Ramanathan, 2012; Vaidya & Kumar, 2006).
- ANP (Analytic network process)(T. L. Saaty, 2008b)
- ARAS (Additive Ratio Assessment) ARAS-F, ARAS-G (Turskis & Zavadskas, 2010).
- COPRAS (Complex Proportional Assessment), COPRAS-G(Popovic, Stanujkic, & Stojanovic, 2012)
- DEA (Data envelopment analysis) (Golany & Roll, 1989)
- ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality)(Figueira, Greco, Roy, & Slowinski, 2010)
- MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) (Bana e Costa, De Corte, & Vansnick, 2003; Bana e Costa, De Corte, & Vansnick, 2005)
- MAUT (Multi-attribute utility theory)(Wallenius et al., 2000)
- MAVT (Multi-attribute value theory)(Simpson, 1994; van Herwijnen, 2009)
- MOORA (Multiple Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis), MULTIMOORA (Brauers & Zavadskas, 2010; Turskis & Zavadskas, 2010b; Zavadskas & Turskis, 2008)
- NAIADE (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments)(Munda, 2005, 2006)
- NSFDSS (Nonstructural Fuzzy Decision Support System)(Jiang & Chen, 2005; Tam, Tong, & Chiu, 2006)
- PAPRIKA (Potentially all pairwise rankings of all possible alternatives) (Sullivan, 2012)
- TOPSIS (Technique for the Order Preference by Similarity to Ideal Solution) (Opricovic & Tzeng, 2004)
- PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations)(Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, & Aghdasi, 2010).
- SMART (Simple multi-attribute rating technique) (Edwards & Barron, 1994)

- SAW (Simple Additive Weighting)(Abdullah & Adawiyah, 2014; Stanujkic, Magdalinovic, & Jovanovic, 2013)
- VIKOR (in Serbian Višekriterijumska optimizacija I KOmpromisno Resenje, que significa Solución de Optimización y Compromiso Multi criterio), (Opricovic & Tzeng, 2004)
- WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment)(Zavadskas, Antucheviciene, Šaparauskas, & Turskis, n.d.; Zavadskas, Antucheviciene, Šaparauskas, & Turskis, 2013)

La descripción detallada de todos los métodos excede el alcance de este proyecto, sin embargo la cantidad de alternativas disponibles ilustra el alto grado de desarrollo y sofisticación que se encuentra en el campo de la toma de decisiones Multicriterio (MCDM: Multi-Criteria Decision Making), las variaciones y la evolución de los métodos buscan mejorar los modelos de decisión para hacerlos más robustos ante las falencias inherentes a la información de entrada usada para la ejecución de los análisis. Dada la complejidad de los modelos matemáticos que involucran muchas de estas herramientas son soportadas por herramientas informáticas que permiten la implementación de las mismas en la práctica, permitiendo a los investigadores concentrarse en la formulación del modelo sin tener que ser expertos en las matemáticas subyacente al mismo.

Para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, se identificó la herramienta del Proceso Analítico Jerárquico - Analytic Hierarchy Process (AHP) como una opción adecuada a aplicar para el proceso de decisión entre las alternativas tecnológicas, considerando los antecedentes expuestos en la literaturas sobre su aplicación a problemas de diversos campos (Vaidya & Kumar, 2006) y la disponibilidad de software libre para ejecutar el análisis (T. L. Saaty, n.d.).

#### **4.5. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)**

El Proceso Analítico Jerárquico se fundamenta en sustituir la medición absoluta por la medición relativa mediante comparaciones pareadas entre diferentes alternativas (T. L. Saaty, 2008b), lo que permite tomar de decisiones entre estas ordenándolas según estas comparaciones sucesivas, en lugar de hacerlo según la calificación obtenida individualmente por cada una de ellas contra una escala de medición numérica cuantitativa.

Hacer esto es necesario cuando los casos que por estar evaluándose atributos complejos que no pueden ser cuantificados o si por tener un gran número de alternativas simultáneas, no es posible establecer una medición cuantitativa individual de cada una de ellas.

La metodología plantea hacer estas mediciones relativas de forma cualitativa como sigue:

- Calificar cada comparación según escala cualitativa de preferencia o importancia relativa entre cada par de alternativas, con relación al objetivo o criterio con respecto al cual están siendo evaluadas (ver Tabla 2. Escala de comparación).
- Aplicar reciprocidad o simetría al hacer comparaciones, de tal forma al calificar según esta escala la importancia de la alternativa A vs. B, automáticamente la calificación para la relación B vs. A es el valor recíproco o inverso (uno dividido la calificación inicial).
- De ser posible hacer una evaluación según una métrica cuantitativa para las alternativas individuales, la calificación para la comparación puede establecerse mediante la razón entre las mediciones individuales.

**Tabla 2. Escala de comparación**

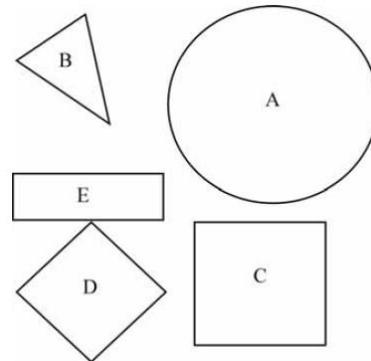
Intensidad de la Importancia	Definición	Explicación
1	Igual Importancia	Ambas alternativas contribuyen igualmente al objetivo.
2	Débil o Ligera	
3	Importancia Moderada	La experiencia o juicio favorece ligeramente una alternativa sobre la otra
4	Moderada plus	
5	Importancia Fuerte	La experiencia o juicio favorece fuertemente una alternativa sobre la otra
6	Fuerte plus	
7	Importancia demostrada o muy fuerte	Una alternativa se favorece muy fuertemente sobre la otra, su dominancia está demostrada en la práctica.
8	Muy muy fuerte	

9	Importancia Extrema	La evidencia que apoya una alternativa sobre la otra afirma esto de la forma más alta posible
---	---------------------	---

Teniendo estas calificaciones se consignan en una matriz, la cual se normaliza dividiendo cada calificación entre la suma total de la columna de comparación de una alternativa frente a las demás y se calcula un valor de ranking sacando el promedio de la fila correspondiente. En la ilustración se presenta un ejemplo simple.

La metodología se extiende para manejar mediante el cálculo de error (T. L. Saaty, 2008b) el nivel de inconsistencia que puede incluirse al calificar, por ejemplo: Después de calificar que la opción A se prefiere frente a la opción B y que la opción B se prefiere frente a la opción C, calificar que la opción C se prefiere frente a la opción A es inconsistente. Niveles inaceptables de error indican la necesidad de revisar la calificación pareada.

CALIFICACIÓN					
Figure	Circle	Triangle	Square	Diamond	Rectangle
Circle	1	9	2	3	5
Triangle	1/9	1	1/5	1/3	1/2
Square	1/2	5	1	3/2	3
Diamond	1/3	3	2/3	1	3/2
Rectangle	1/5	2	1/3	2/3	1



VALOR DECIMALES					
Figure	Circle	Triangle	Square	Diamond	Rectangle
Circle	1,000	9,000	2,000	3,000	5,000
Triangle	0,111	1,000	0,200	0,333	0,500
Square	0,500	5,000	1,000	1,500	3,000
Diamond	0,333	3,000	0,667	1,000	1,500
Rectangle	0,200	2,000	0,333	0,667	1,000
SUMA	2,14	20,00	4,20	6,50	11,00

MATRIZ NORMALIZADA						VECTOR PRIORIZACIÓN	TAMAÑO RELATIVO REAL
Figure	Circle	Triangle	Square	Diamond	Rectangle		
Circle	0,466	0,450	0,476	0,462	0,455	0,462	0,471
Triangle	0,052	0,050	0,048	0,051	0,045	0,049	0,050
Square	0,233	0,250	0,238	0,231	0,273	0,245	0,234
Diamond	0,155	0,150	0,159	0,154	0,136	0,151	0,149
Rectangle	0,093	0,100	0,079	0,103	0,091	0,093	0,096

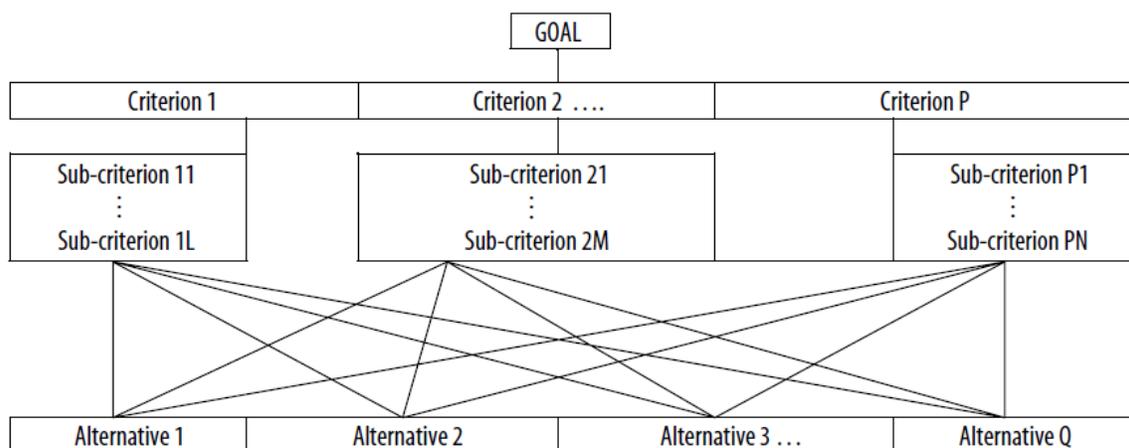
Ilustración 74. Ejemplo Proceso Analítico Jerárquico – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP), Comparación cualitativa áreas figuras geométricas.

FUENTE: (T. L. Saaty, 2008b).

Entendido el modelo de cálculo inmerso en el método el procedimiento para aplicarlo en la toma de decisiones es el siguiente (Bushan & Rai, 2004; R. W. Saaty, 1987; T. L. Saaty, 2008a):

- Se establece el objetivo sobre el cual se debe ejecutar la toma de decisión.
- Se definen los criterios y sub criterios respecto a los cuales se hará la calificación.
- Se definen las alternativas entre las cuales se deberá tomar la decisión
- Se califican de forma pareada todos los criterios, sub criterios y alternativas según la escala de comparación (ver Tabla 2. Escala de comparación).
- Se evalúan las inconsistencias para ajustar las calificaciones.
- Se calcular un puntaje que permita identificar la mejor alternativa.

Esta estructura jerárquica de relaciones se muestra en el siguiente esquema genérico:



**Ilustración 75. Proceso Analítico Jerárquico – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP), Esquema Genérico de estructuración de un problema.**

FUENTE: (Bushan & Rai, 2004).

#### **4.6. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) APLICADO A SELECCIONAR TECNOLOGÍAS CONFORMACIÓN POR COLAJE DE MATERIALES CERÁMICOS**

Para efectos de priorizar las tecnologías nuestro modelo AHP se concibe de la siguiente manera:

- **Objetivo:** Producción a escala industrial de piezas de cerámica tradicional.
- **Criterios:** Son las 8 características sobre las que se evalúa la conveniencia o no de adoptar las alternativas tecnológicas (ver Tabla 3. Criterios Modelo Proceso Analítico Jerárquico – (AHP)).

**Tabla 3. Criterios Modelo Proceso Analítico Jerárquico – (AHP)**

<b>CRITERIOS</b>	
Inversión	Equipos Formación
	Equipos Auxiliares
	Complejidad Tecnológica
	Base de proveedores Tecnología
Costos Operativos	Materias primas
	Otros Insumos
	Energéticos
	Mantenimiento
	Mano de Obra / Productividad
Procesos complementarios	Preparaciones
	Acabados
	Secado
	Sinterizado
Impacto Ambiental	Desechos sólidos
	Desechos peligrosos
	Efluentes gaseosos
	Huella carbono
	Huella hídrica
	Efluentes líquidos
	Facilidad de reciclaje del producto en proceso
	Facilidad de reciclaje del producto terminado

Salud y Seguridad	Toxicidad
	Ergonomía
Diseño de Producto	Tamaño
	Tridimensionalidad 3D
	Nivel de detalle
	Valor Percibido
	Peso
	Espesor
	Ángulos Radios
	Superficie
Calidad y Rendimiento	Roturas en proceso
	Terminado
Variables Logísticas	Origen Materias Primas
	Base Proveedores Materias Primas
	Lotes mínimos fabricación
	Lead time fabricación

- **Alternativas:** Se construyen a partir de las 16 tecnologías para la conformación por colaje de materiales cerámicos descritas en el capítulo de BUSQUEDA Y CAPTACIÓN. Para poder hacer comparaciones pareadas, se construyó la descripción hipotética del proceso para cada una con los requerimientos según los criterios de evaluación propuestos (ver ANEXOS 1 a 9).

#### 4.7. SOFTWARE SUPER DECISIONS

Con el fin de facilitar la construcción y evaluación del modelo AHP para para el problema en cuestión se identificó la herramienta de software Super Decisions (<http://www.superdecisions.com>) (Ahp, n.d.; T. L. Saaty, n.d.), la cual fue desarrollada por la Creative Decisions Foundation (<http://www.creativedecisions.net/>) establecida por Thomas y Rozann Saaty para promover entre las personas la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) para la toma racional de decisiones.

##### 4.7.1. SUPER DECISIONS: CONFIGURACIÓN ESTRUCTURA JERÁRQUICA

Con la pestaña “Design” del software Super Decisions se definen el Objetivo, Criterios y Alternativas:

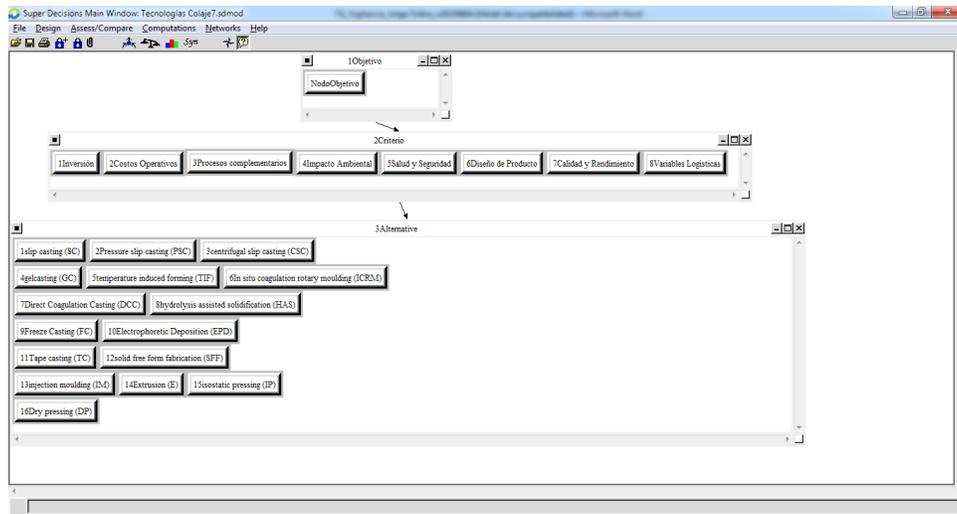


Ilustración 76. Ventana principal de diseño Super Decisions

El Reporte final generado por el software presenta el modelo en términos de Criterios y Alternativas:

Network Type:	Bottom level
Formula:	Not applicable
Clusters/Nodes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>1Objetivo:</b> <i>Fabricar Cerámica Tradicional</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <b>NodoObjetivo:</b> <i>Fabricar Cerámica Tradicional</i></li> </ul> </li> <li>• <b>2Criterio:</b> <i>Variable Manufactura</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <b>1Inversion:</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>2Costos Operativos:</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>3Procesos complementarios:</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>4Impacto Ambiental:</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>5Salud y Seguridad:</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>6Diseño de Producto:</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>7Calidad y Rendimiento:</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>8Variables Logísticas:</b> <i>description</i></li> </ul> </li> <li>• <b>3Alternativa:</b> <i>Tecnología de Fabricación</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <b>1slip casting (SC):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>2Pressure slip casting (PSC):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>3centrifugal slip casting (CSC):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>4gelcasting (GC):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>5temperature induced forming (TIF):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>6In situ coagulation rotary moulding (ICRM):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>7Direct Coagulation Casting (DCC):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>8hydrolysis assisted solidification (HAS):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>9Freeze Casting (FC):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>10Electrophoretic Deposition (EPD):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>11Tape casting (TC):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>12solid free form fabrication (SFF):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>13injection moulding (IM):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>14Extrusion (E):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>15isostatic pressing (IP):</b> <i>description</i></li> <li>◦ <b>16Dry pressing (DP):</b> <i>description</i></li> </ul> </li> </ul>

Ilustración 77. Reporte final Super Decisions (modelo)

#### 4.7.2. SUPER DECISIONS: EVALUACIÓN PAREADA CRITERIOS

En la pestaña Assess/Compare se ingresan las comparaciones pareadas calcular el peso relativo de los CRITERIOS en relación al OBJETIVO:

NODO OBJETIVO		
CLUSTER CRITERIO		
Inconsistency		0,00163

Name	Normalized	Idealized
1Inversion	0,0323	0,1183
2Costos Operativos	0,0601	0,2202
3Procesos complementarios	0,0323	0,1183
4Impacto Ambiental	0,2418	0,8865
5Salud y Seguridad	0,2728	1,0000
6Diseño de Producto	0,2688	0,9855
7Calidad y Rendimiento	0,0601	0,2202
8Variables Logísticas	0,0318	0,1166

**Ilustración 78. Ventana Asses/Compare Super Decisions CRITERIOS vs. OBJETIVO**

Se observa que a partir de las comparaciones con relación al logro del Objetivo al Criterio al que se le da mayor importancia es al de Salud y Seguridad (0,2728), seguido por Diseño de Producto (0,2688) y por Impacto Ambiental (0,2418).

### 4.7.3. SUPER DECISIONS: EVALUACIÓN PAREADA ALTERNATIVAS

Igualmente en la pestaña Asses/Compare se ingresan las comparaciones pareadas para evaluar las ALTERNATIVAS respecto a cada uno de los CRITERIOS.

#### 4.7.3.1. ALTERNATIVAS V.S. INVERSIÓN

NODO INVERSION		
CLUSTER ALTERNATIVA		
Inconsistency		0,05847

Name	Normalized	Idealized
1 slip casting (SC)	0,2023	1,0000
2 Pressure slip casting (PSC)	0,0169	0,0837
3 centrifugal slip casting (CSC)	0,0375	0,1852
4 gelcasting (GC)	0,1172	0,5792
5 temperature induced forming (TIF)	0,0788	0,3897
6 In situ coagulation rotary moulding (ICRM)	0,0670	0,3312
7 Direct coagulation casting (DCC)	0,1183	0,5850
8 hydrolysis assisted solidification (HAS)	0,1262	0,6238
9 Freeze casting (FC)	0,0641	0,3169
10 Electrophoretic deposition (EPD)	0,0555	0,2746
11 Tape casting (TC)	0,0424	0,2094
12 Solid free form fabrication (SFF)	0,0171	0,0845
13 injection moulding (IM)	0,0117	0,0579
14 Extrusion (E)	0,0230	0,1139
15 isostatic pressing (IP)	0,0095	0,0470
16 Dry pressing (DP)	0,0125	0,0618

**Ilustración 79. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. INVERSIÓN**

A partir de las comparaciones con relación a este Criterio a la Alternativa al que se le da mayor preferencia es a la de 1 slip casting (SC) (0,2023), seguido por 8 hydrolysis assisted solidification (HAS) (0,1262) y por 7 Direct coagulation casting (DCC) (0,1183).

#### 4.7.3.2. ALTERNATIVAS V.S. COSTOS OPERATIVOS

NODO COSTOS OPERATIVOS		
CLUSTER ALTERNATIVA		
Inconsistency	0,0572	
Name	Normalized	Idealized
1 slip casting (SC)	0,2008	1,0000
2 Pressure slip casting (PSC)	0,1332	0,6633
3 centrifugal slip casting (CSC)	0,1424	0,7091
4 gelcasting (GC)	0,0331	0,1647
5 temperature induced forming (TIF)	0,0336	0,1671
6 In situ coagulation rotary moulding (ICRM)	0,0221	0,1102
7 Direct coagulation casting (DCC)	0,0368	0,1832
8 hydrolysis assisted solidification (HAS)	0,0350	0,1745
9 Freeze casting (FC)	0,0463	0,2308
10 Electrophoretic deposition (EPD)	0,0559	0,2783
11 Tape casting (TC)	0,0221	0,1101
12 Solid free form fabrication (SFF)	0,0176	0,0878
13 injection moulding (IM)	0,0104	0,0520
14 Extrusion (E)	0,1089	0,5423
15 isostatic pressing (IP)	0,0145	0,0723
16 Dry pressing (DP)	0,0873	0,4349

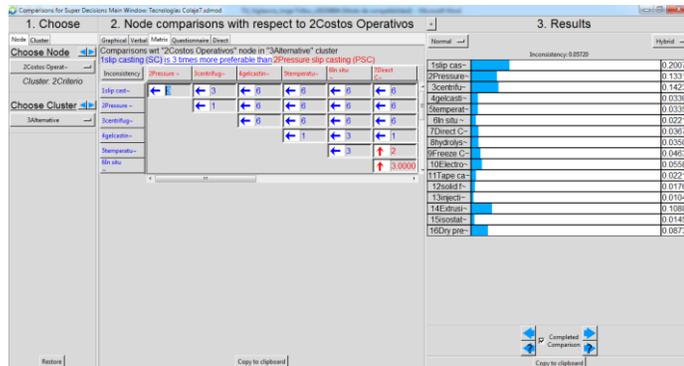


Ilustración 80. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. COSTOS OPERATIVOS

A partir de las comparaciones con relación a este Criterio a la Alternativa a la que se le da mayor preferencia es a la de 1 slip casting (SC) (0,2008), seguido por 3 centrifugal slip casting (CSC) (0,1424) y por 2 Pressure slip casting (PSC) (0,1332).

#### 4.7.3.3. ALTERNATIVAS V.S. PROCESOS COMPLEMENTARIOS

NODO PROCESOS COMPLEMENTARIOS		
CLUSTER ALTERNATIVA		
Inconsistency	0,0581	
Name	Normalized	Idealized
1 slip casting (SC)	0,1539	1,0000
2 Pressure slip casting (PSC)	0,1394	0,9057
3 centrifugal slip casting (CSC)	0,1264	0,8218
4 gelcasting (GC)	0,0599	0,3896
5 temperature induced forming (TIF)	0,0632	0,4106
6 In situ coagulation rotary moulding (ICRM)	0,0669	0,4349
7 Direct coagulation casting (DCC)	0,0669	0,4349
8 hydrolysis assisted solidification (HAS)	0,0669	0,4349
9 Freeze casting (FC)	0,0278	0,1807
10 Electrophoretic deposition (EPD)	0,1042	0,6775
11 Tape casting (TC)	0,0125	0,0810
12 Solid free form fabrication (SFF)	0,0367	0,2384
13 injection moulding (IM)	0,0207	0,1348
14 Extrusion (E)	0,0171	0,1111
15 isostatic pressing (IP)	0,0239	0,1556
16 Dry pressing (DP)	0,0135	0,0877

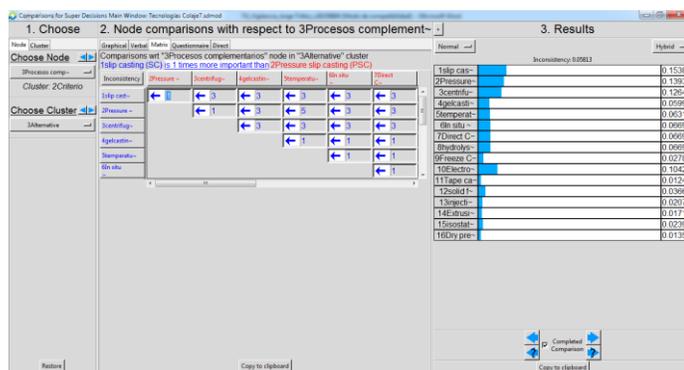


Ilustración 81. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. PROCESOS COMPLEMENTARIOS

A partir de las comparaciones con relación a este Criterio a la Alternativa a la que se le da mayor preferencia es a la de 1 slip casting (SC) (0,1539), seguido por 2 Pressure slip casting (PSC) (0,1394) y por 3 centrifugal slip casting (CSC) (0,1264).

#### 4.7.3.4. ALTERNATIVAS V.S. IMPACTO AMBIENTAL

NODO IMPACTO AMBIENTAL		
CLUSTER ALTERNATIVA		
Inconsistency	0,0271	
Name	Normalized	Idealized
1 slip casting (SC)	0,0399	0,3165
2 Pressure slip casting (PSC)	0,0673	0,5335
3 centrifugal slip casting (CSC)	0,0336	0,2665
4 gelcasting (GC)	0,0321	0,2541
5 temperature induced forming (TIF)	0,0767	0,6083
6 In situ coagulation rotary moulding (ICRM)	0,0572	0,4534
7 Direct coagulation casting (DCC)	0,0814	0,6451
8 hydrolysis assisted solidification (HAS)	0,0864	0,6850
9 Freeze casting (FC)	0,0594	0,4707
10 Electrophoretic deposition (EPD)	0,0624	0,4944
11 Tape casting (TC)	0,0565	0,4481
12 Solid free form fabrication (SFF)	0,1262	1,0000
13 injection moulding (IM)	0,0409	0,3243
14 Extrusion (E)	0,0875	0,6937
15 isostatic pressing (IP)	0,0421	0,3337
16 Dry pressing (DP)	0,0503	0,3987

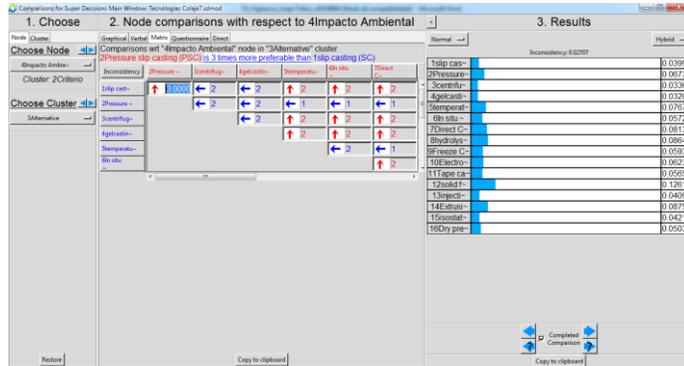


Ilustración 82. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. IMPACTO AMBIENTAL

A partir de las comparaciones con relación a este Criterio a la Alternativa a la que se le da mayor preferencia es a la de 12 Solid free form fabrication (SFF) (0,1262), seguido por 14 Extrusion (E) (0,0875) y por 8 hydrolysis assisted solidification (HAS) (0,0864).

#### 4.7.3.5. ALTERNATIVAS V.S. SALUD Y SEGURIDAD

NODO SALUD Y SEGURIDAD		
CLUSTER ALTERNATIVA		
Inconsistency	0,0240	
Name	Normalized	Idealized
1 slip casting (SC)	0,1331	1,0000
2 Pressure slip casting (PSC)	0,1049	0,7880
3 centrifugal slip casting (CSC)	0,0297	0,2229
4 gelcasting (GC)	0,0288	0,2161
5 temperature induced forming (TIF)	0,0545	0,4096
6 In situ coagulation rotary moulding (ICRM)	0,0602	0,4523
7 Direct coagulation casting (DCC)	0,0739	0,5550
8 hydrolysis assisted solidification (HAS)	0,0739	0,5550
9 Freeze casting (FC)	0,0418	0,3139
10 Electrophoretic deposition (EPD)	0,0404	0,3037
11 Tape casting (TC)	0,0393	0,2950
12 Solid free form fabrication (SFF)	0,0894	0,6714
13 injection moulding (IM)	0,0451	0,3385
14 Extrusion (E)	0,0720	0,5408
15 isostatic pressing (IP)	0,0492	0,3696
16 Dry pressing (DP)	0,0640	0,4805

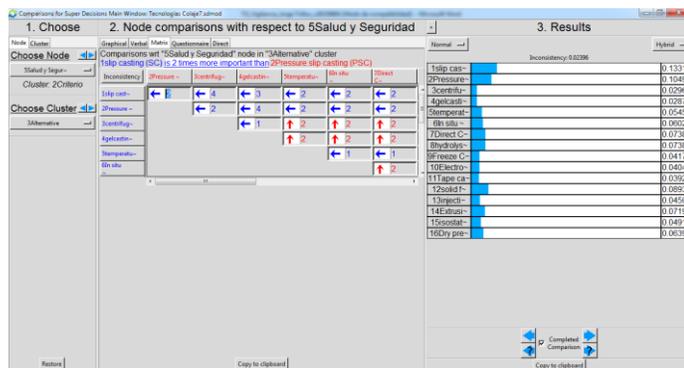


Ilustración 83. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. SALUD Y SEGURIDAD

A partir de las comparaciones con relación a este Criterio a la Alternativa a la que se le da mayor preferencia es a la de 1 slip casting (SC) (0,1262), seguido por 2 Pressure slip casting (PSC) (0,1049) y por 12 Solid free form fabrication (SFF) (0,0720).

#### 4.7.3.6. ALTERNATIVAS V.S. DISEÑO DE PRODUCTO

NODO DISEÑO DE PRODUCTO		
CLUSTER ALTERNATIVA		
Inconsistency	0,0521	
Name	Normalized	Idealized
1 slip casting (SC)	0,0342	0,1694
2 Pressure slip casting (PSC)	0,0339	0,1677
3 centrifugal slip casting (CSC)	0,0285	0,1411
4 gelcasting (GC)	0,0960	0,4751
5 temperature induced forming (TIF)	0,0577	0,2857
6 In situ coagulation rotary moulding (ICRM)	0,0639	0,3162
7 Direct coagulation casting (DCC)	0,0663	0,3281
8 hydrolysis assisted solidification (HAS)	0,0680	0,3369
9 Freeze casting (FC)	0,0212	0,1049
10 Electrophoretic deposition (EPD)	0,0612	0,3030
11 Tape casting (TC)	0,0134	0,0663
12 Solid free form fabrication (SFF)	0,2020	1,0000
13 injection moulding (IM)	0,1296	0,6418
14 Extrusion (E)	0,0170	0,0843
15 isostatic pressing (IP)	0,0850	0,4210
16 Dry pressing (DP)	0,0221	0,1092

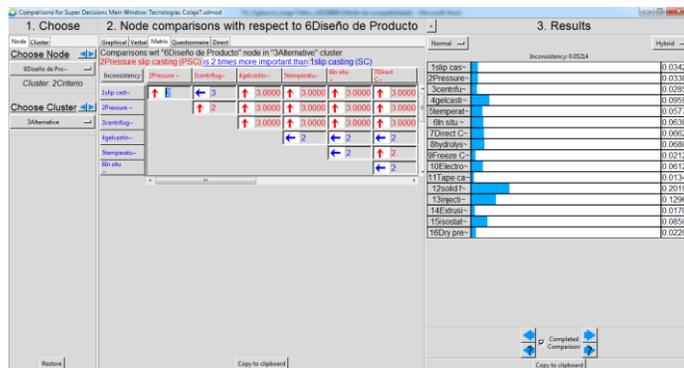


Ilustración 84. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. DISEÑO DE PRODUCTO

A partir de las comparaciones con relación a este Criterio a la Alternativa a la que se le da mayor preferencia es a la de 1 slip casting (SC) (0,1262), seguido por 2 Pressure slip casting (PSC) (0,1049) y por 12 Solid free form fabrication (SFF) (0,0720).

#### 4.7.3.7. ALTERNATIVAS V.S. CALIDAD Y RENDIMIENTO

NODO CALIDAD Y RENDIMIENTO		
CLUSTER ALTERNATIVA		
Inconsistency	0,0583	
Name	Normalized	Idealized
1 slip casting (SC)	0,0176	0,1050
2 Pressure slip casting (PSC)	0,0186	0,1108
3 centrifugal slip casting (CSC)	0,0185	0,1103
4 gelcasting (GC)	0,1189	0,7089
5 temperature induced forming (TIF)	0,0502	0,2991
6 In situ coagulation rotary moulding (ICRM)	0,0320	0,1907
7 Direct coagulation casting (DCC)	0,0464	0,2767
8 hydrolysis assisted solidification (HAS)	0,0444	0,2649
9 Freeze casting (FC)	0,0144	0,0856
10 Electrophoretic deposition (EPD)	0,0308	0,1839
11 Tape casting (TC)	0,0415	0,2474
12 Solid free form fabrication (SFF)	0,1677	1,0000
13 injection moulding (IM)	0,1434	0,8547
14 Extrusion (E)	0,0560	0,3336
15 isostatic pressing (IP)	0,1370	0,8167
16 Dry pressing (DP)	0,0627	0,3739

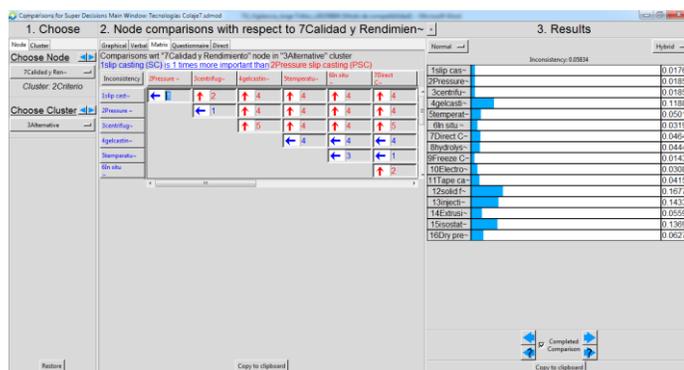


Ilustración 85. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. CALIDAD Y RENDIMIENTO

A partir de las comparaciones con relación a este Criterio a la Alternativa a la que se le da mayor preferencia es a la de 12 Solid free form fabrication (SFF) (0,1677), seguido por 13 injection moulding (IM) (0,1434) y por 15 isostatic pressing (IP) (0,1370).

#### 4.7.3.8. ALTERNATIVAS V.S. VARIABLES LOGÍSTICAS

Name	Normalized	Idealized
1 slip casting (SC)	0,1123	0,4939
2 Pressure slip casting (PSC)	0,0258	0,1136
3 centrifugal slip casting (CSC)	0,0887	0,3899
4 gelcasting (GC)	0,0290	0,1273
5 temperature induced forming (TIF)	0,0563	0,2474
6 In situ coagulation rotary moulding (ICRM)	0,0470	0,2065
7 Direct coagulation casting (DCC)	0,0528	0,2322
8 hydrolysis assisted solidification (HAS)	0,0555	0,2440
9 Freeze casting (FC)	0,0814	0,3577
10 Electrophoretic deposition (EPD)	0,0880	0,3868
11 Tape casting (TC)	0,0288	0,1267
12 Solid free form fabrication (SFF)	0,2275	1,0000
13 injection moulding (IM)	0,0170	0,0746
14 Extrusion (E)	0,0336	0,1475
15 isostatic pressing (IP)	0,0261	0,1147
16 Dry pressing (DP)	0,0303	0,1333

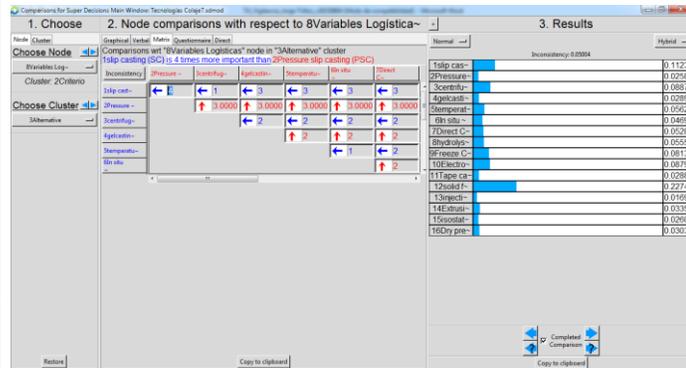


Ilustración 86. Ventana Asses/Compare Super Decisions ALTERNATIVAS vs. VARIABLES LOGÍSTICAS

A partir de las comparaciones con relación a este Criterio a la Alternativa a la que se le da mayor preferencia es a la de 12 Solid free form fabrication (SFF) (0,2275), seguido por 1 slip casting (SC) (0,1123) y por 3 centrifugal slip casting (CSC) (0,0887).

#### 4.7.4. SUPER DECISIONS: CORRECCIÓN NIVEL INCONSISTENCIAS

En la pestaña Asses/Compare el software tiene la capacidad de evaluar el nivel de inconsistencia en los valores ingresados y sugerir ajustes para obtener un error aceptable:

Rank	Row	Col	Current Val	Best Val	Old Inconsist	New Inconsist	% Improvement
1	9Pressure Casting (FC)	10Electrophoretic Dep	3.00000	1.051300	0.057204	0.052012	3.32 %
2	4Gelcasting (GC)	10Electrophoretic Dep	4.00000	1.489300	0.057204	0.052011	3.50 %
3	6In situ coagulation ro2solid free form fabric	3	3.00000	1.104610	0.057204	0.052122	3.48 %
4	11Tape casting (TC)	12solid free form fabric	3.00000	1.102388	0.057204	0.052389	3.38 %
5	7Direct Coagulation C8Freeze Casting (FC)	3	3.00000	1.109683	0.057204	0.052399	3.35 %
6	12solid free form fabric3injection moulding (I	4	4.00000	1.485123	0.057204	0.052394	3.34 %
7	6In situ coagulation ro3injection moulding (I	5	5.00000	1.870030	0.057204	0.052353	3.24 %
8	11Tape casting (TC)	13injection moulding (I	3.00000	21.415686	0.057204	0.052467	3.04 %
9	2Pressure slip casting13injection moulding (I	6	6.00000	14.171380	0.057204	0.052470	3.03 %
10	8hydrolysis assisted so9Freeze Casting (FC)	3	3.00000	1.175787	0.057204	0.052492	2.99 %
11	13injection moulding (I14Extrusion (E)	5	5.00000	11.556077	0.057204	0.052512	2.96 %
12	11Tape casting (TC)	3centrifugal slip castin	3.00000	1.386790	0.057204	0.052528	2.98 %
13	6In situ coagulation ro15isostatic pressing (I	3	3.00000	1.399305	0.057204	0.052533	2.92 %
14	11Tape casting (TC)	15isostatic pressing (I	3.00000	1.385756	0.057204	0.052592	2.15 %
15	11Tape casting (TC)	2Pressure slip casting	3.00000	1.363843	0.057204	0.052603	2.08 %
16	7Direct Coagulation C10Electrophoretic Dep	3	3.00000	1.382506	0.057204	0.052608	2.04 %
17	2Pressure slip casting16Dry pressing (DP)	3	3.00000	1.307890	0.057204	0.052668	1.99 %
18	11Tape casting (TC)	12solid free form fabric	6.00000	12.440245	0.057204	0.052680	1.96 %
19	5temperature induced hydrolysis assisted so	2	2.00000	1.047393	0.057204	0.052696	1.94 %
20	4Gelcasting (GC)	11Tape casting (TC)	3.00000	1.356482	0.057204	0.052698	1.92 %
21	6In situ coagulation ro17isostatic pressing (I	3	3.00000	1.359884	0.057204	0.052726	1.88 %
22	7Direct Coagulation C8hydrolysis assisted so	2	2.00000	1.041620	0.057204	0.052617	1.86 %
23	5temperature induced11Tape casting (TC)	3	3.00000	1.381241	0.057204	0.052690	1.79 %
24	6In situ coagulation ro18injection moulding (I	3	3.00000	1.378607	0.057204	0.052697	1.76 %
25	8hydrolysis assisted11Tape casting (TC)	3	3.00000	1.452392	0.057204	0.052699	1.74 %
26	3centrifugal slip castin10Electrophoretic Dep	5	5.00000	2.330228	0.057204	0.052625	1.73 %
27	5temperature induced7Direct Coagulation C	2	2.00000	1.039363	0.057204	0.052626	1.71 %
28	6In situ coagulation ro19injection moulding (I	3	3.00000	1.450604	0.057204	0.052626	1.71 %
29	11Tape casting (TC)	13injection moulding (I	4.00000	1.839603	0.057204	0.052620	1.61 %
30	11Tape casting (TC)	15isostatic pressing (I	4.00000	1.872894	0.057204	0.052624	1.61 %

Ilustración 87. Ventana Asses/Compare Super Decisions Inconsistency Report

#### 4.7.5. SUPER DECISIONS: REPORTE RANKING PRIORIZACIÓN ALTERNATIVAS

El reporte final del Software presenta el ranking de Alternativas considerando la evaluación de estas por a cada Criterio y la de los Criterios frente al objetivo final:

**Report for toplevel**

This is a report for how alternatives fed up through the system to give us our synthesized values. [Return to main menu.](#)

**Alternative Rankings**

Graphic	Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
■	1slip casting (SC)	0.0417	0.0834	0.6447	2
■	2Pressure slip casting (PSC)	0.0345	0.0690	0.5335	5
	3centrifugal slip casting (CSC)	0.0208	0.0417	0.3222	14
	4gelcasting (GC)	0.0286	0.0572	0.4422	10
	5temperature induced forming (TIF)	0.0302	0.0604	0.4668	7
	6In situ coagulation rotary moulding (ICRM)	0.0282	0.0565	0.4369	11
■	7Direct Coagulation Casting (DCC)	0.0352	0.0703	0.5438	4
■	8hydrolysis assisted solidification (HAS)	0.0361	0.0721	0.5578	3
	9Freeze Casting (FC)	0.0203	0.0407	0.3145	15
	10Electrophoretic Deposition (EPD)	0.0279	0.0557	0.4311	12
	11Tape casting (TC)	0.0172	0.0345	0.2668	16
■	12solid free form fabrication (SFF)	0.0646	0.1293	1.0000	1
■	13injection moulding (IM)	0.0339	0.0679	0.5249	6
	14Extrusion (E)	0.0288	0.0576	0.4459	8
	15isostatic pressing (IP)	0.0287	0.0575	0.4445	9
	16Dry pressing (DP)	0.0232	0.0464	0.3586	13

Ilustración 88. Reporte Final Super Decisions Ranking Alternativas

De este ranking podemos concluir que la mediante la aplicación de la herramienta se identifica la tecnología solid free form fabrication (SFF) como la de mejor ajuste según los criterios calificados.

## 5. Manufactura Aditiva - Solid free form fabrication (SFF) Como TECNOLOGÍA alternativa para CONFORMACIÓN POR COLAJE DE MATERIALES CERÁMICOS

Según los resultados observados en la aplicación del PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO para seleccionar TECNOLOGÍAS CONFORMACIÓN POR COLAJE DE MATERIALES CERÁMICOS se le da mayor preferencia a la Alternativa Solid Free Form Fabrication (SFF) (0,1293), por lo que para efectos de este trabajo se profundiza la vigilancia para esta tecnología, también conocida como MANUFACTURA ADITIVA – Additive Manufacturing (AM), aplicada a la conformación de piezas cerámicas.

Esta tecnología se define según el estándar ISO/ASTM 17296 como la conformación de un objeto tridimensional mediante la adición de capas sucesivas de material. (Chartier, Dupas, Lasgorceix, Brie, Champion, Delhote, & Chaput, 2015; Deckers, Vleugels, Kruth, & Introduction, 2014)

### 5.1. Tipologías de Manufactura Aditiva - Solid free form fabrication (SFF)

Dependiente de los principios empleados para efectuar al deposición y consolidación del material cerámico se genera una clasificación de las diversas tecnologías (ver Ilustración 89) cuyas variantes y tipologías han sido descritas en la literatura. (Chartier, Dupas, Lasgorceix, Brie, Champion, Delhote, & Chaput, 2015; Deckers et al., 2014; Kruth, Mercelis, Froyen, & Rombouts, 2005; Shulman, Spradling, & Hoag, 2012)

classified by ISO/ASTM										not (yet) classified by ISO/ASTM					
Single step		Multi-step													
Directed energy deposition	Powder bed fusion	Vat photo-polymerization	Material jetting	Material extrusion	Sheet lamination	Binder jetting	Electro-phoretic deposition	Electro-photographic printing							
	Powder bed fusion														
multi-step / single step	single step										multi-step				
binding mechanism	full melting			partial melting				solid state sintering	chemically induced binding		partial melting	gelling			
powder deposition mechanism	conventional	slurry coater	aerosol assisted spray deposition	conventional	slurry coater	slurry sprayer	ring blade	electro-phoretic deposition	conventional	conventional	slurry coater	ring blade	conventional	slurry coater	slurry coater

Ilustración 89. Procesos de Manufactura Aditiva de Cerámica.

FUENTE: (Deckers et al., 2014)

### 5.1.1. Aplicación de material a chorro (Material Jetting)

Descripción: Gotas de material se depositan selectivamente.

Tolerancia: 0.05 mm

Ventajas:

- Alta Precisión
- Buen terminado superficial
- Aplicación simultanea de múltiples materiales.

Limitaciones:

- Costo del material
- Sólo aplica capas delgadas

Tipos:

- Impresión por chorro de tinta (Ink Jet Printing): Aplicación de gotas individuales.
- Impresión por chorro aerosol (Aerosol Jet Printing): Aplicación de gotas múltiples simultáneas.

Patentes relacionadas:

- [\(US20120308837\)](#) Process for the generative preparation of ceramic shaped bodies by 3D inkjet printing.
- [\(US20120316669\)](#) Rapid prototyping apparatus.

Aplicaciones Comerciales:

STRATASYS (<http://www.stratasys.com/3d-printers/production-series> )

EEUU



**Ilustración 90. Prototipos de Griferías HELVEX de México por impresión a chorro.**

FUENTE: STRATASYS.

Compañía fundada en Minnesota en 1989, ofrece líneas de impresoras basadas en dos tipos de tecnologías, la deposición por chorro de tinta de polímeros para foto curado y la extrusión de polímeros termoplásticos. Los sistemas pueden producir piezas con dimensiones máximas de 914.4 x 609.6 x 914.4 mm.

### **5.1.2. Extrusión de material (Material Extrusion)**

Descripción: Se deposita material a través de un agujero o boquilla.

Tolerancia: 1 mm

Ventajas:

- Fácil remoción del soporte.
- Buenas propiedades mecánicas-
- No desperdicia material.

Limitaciones:

- Precisión limitada por el diámetro del filamento (1 mm aprox.)

Tipos:

- Deposición Fundida (Fused Deposition): Aplicación de material fundido que se solidifica al enfriarse.
- Impresión por inyección (Robocasting): Aplicación de una suspensión líquida que se gelifica una vez se deposita.

Patentes relacionadas:

- [\(US8, 827,684\)](#): 3D printer and print head unit with multiple filaments.
- [\(US20150140145\)](#) Three-dimensional printer tool systems.
- [\(US20150147421\)](#) METHOD AND APPARATUS FOR FABRICATING THREE DIMENSIONAL MODELS.
- [\(US20140178585\)](#) Automated additive manufacturing system for printing three-dimensional parts, printing farm thereof, and method of use thereof.

Aplicaciones comerciales:

MAKERBOT (<http://www.makerbot.com/>)

EEUU



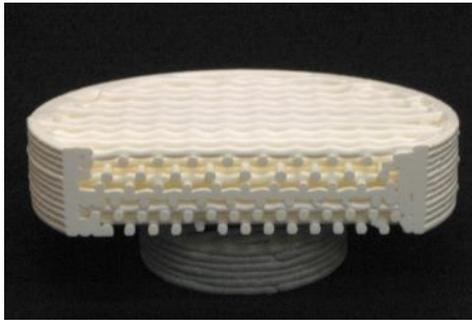
**Ilustración 91. Impresora a chorro de escritorio Makerbot.**

FUENTE: MAKERBOT.

Compañía fundada en 2009 en New York para fabricar kits de impresión 3D por extrusión de polímero termo plástico con destino al público general. Fue adquirida por STRATASYS en 2013 y sigue operando como subsidiaria independiente.

ROBOCASTING ENTERPRISES (<https://www.robocasting.net/> )

EEUU



**Ilustración 92. Filtro cerámico fabricado por Robocasting.**

FUENTE: ROBOCASTING ENTERPRISES

Empresa spin-off de los Sandia National Laboratories, fundada en 2007 para la aplicación de la tecnología de manufactura aditiva mediante extrusión mediante un brazo robótico de pastas para la fabricación de filtros para purificación de metales fundidos, extendiendo sus líneas posteriormente a soportes para catálisis, crisoles y otros elementos de laboratorio.

WASP (<http://www.wasproject.it/w/en/> )

ITALIA



**Ilustración 93. Impresora por extrusión de arcilla.**

FUENTE: WASP

Proyecto open source que fabrica y distribuye kits de impresión 3D tanto para deposición de plástico termo fundido como para extrusión de arcilla, con la capacidad de fabricar

piezas de un tamaño máximo al circunscrito en un diámetro de 600 mm x 1000mm de alto.

OLIVIER VAN HERPT (<http://oliviervanherpt.com/functional-3d-printed-ceramics/>)

HOLANDA



**Ilustración 94. Fabricación de piezas cerámicas por extrusión 3D.**

FUENTE: OLIVIER VAN HERPT

Artista que ha desarrollado sus propios sistemas de extrusión buscando fabricar piezas a una escala mayor (420 mm de diámetro x 800 mm de altura) usando una pasta cerámica de consistencia más densa.

UNFOLD (<http://unfold.be/pages/ceramic-3d-printing> )

BELGICA



**Ilustración 95. Fabricación de piezas cerámicas por extrusión 3D.**

FUENTE: UNFOLD

Estudio de diseño que fabrica y vende objetos cerámicos producidos por extrusión 3D.

### 5.1.3. Deposición por energía dirigida (Directed Energy Deposition)

Descripción: Se deposita material y se solidifica enfocando energía térmica.

Tolerancia: 0.2 – 0.5 mm

Ventajas:

- Altas ratas de producción
- Diseños complejos
- Bajos costos
- Buen acabado superficial

Limitaciones:

- Rugosidad superficial
- Bajas propiedades mecánicas
- Sólo aplica a materiales que absorban radiación Infrarroja.

Tipos:

- Deposición Láser (Laser Cladding): Mediante una boquilla se deposita un polvo cerámico en el foco de un rayo láser para fundirlo y solidificarlo sobre un sustrato.
- Deposición Híbrida: Se alimentan simultáneamente un polvo y un filamento en el foco de un rayo láser para fundirlos y solidificarlo sobre un sustrato.

Patentes relacionadas:

- [\(WO2015112889\)](#) ADDITIVE MANUFACTURING OF METAL MATRIX COMPOSITE FEEDSTOCK.

Aplicaciones comerciales:

OPTOMECH (<http://www.optomech.com/> )

EEUU



**Ilustración 96. Sistema deposición por energía dirigida.**

FUENTE: OPTOMECH.

Fundada en 1997 usando tecnología de Sandia National Labs, se enfoca en la deposición de metales para la fabricación y reparación de partes y en la impresión de circuitos electrónicos.

#### **5.1.4. Laminación de capas: (Sheet Lamination)**

Descripción: Se unen láminas de material para conformar un objeto.

Tolerancia: 0.1 mm

Ventajas:

- Altas tasas de producción.
- Amplia variedad de materiales.
- Bajo costo.
- No requiere aplicar materiales de soporte.

Limitaciones:

- Baja precisión en el eje vertical.
- Pobre acabado superficial.
- Dificultad para producir partes huecas.

Tipos:

- Tradicional: Laminas de material cerámico producido por colaje en cinta (tape casting) se sobreponen unidas por un adhesivo térmico y se cortan mediante láser, la unión se consolida aplicando un rodillo caliente en cada capa.
- Ayudado por computador: Las capas se pre cortan antes de apilarse robóticamente, facilitando la creación espacios vacíos al interior de la pieza.

Patentes relacionadas:

- [\(EP2559534\)](#) Systems, devices, and/or methods for manufacturing castings.
- [\(US20140272121\)](#) Digital 3D Fabrication Using Multi-Layered Mold.
- [\(US20090146347\)](#) Imprint lithography.
- [\(US20120007287\)](#) Method and apparatus for layerwise production of a 3D object.

Aplicaciones comerciales:

CAM-LEM INC. (<http://www.camlem.com/camlemprocess.html>)

EEUU

Compañía especializada en la fabricación de elementos mediante el apilado de capas en metal y cerámica, particularmente en lo referente a dispositivos micro fluidicos.

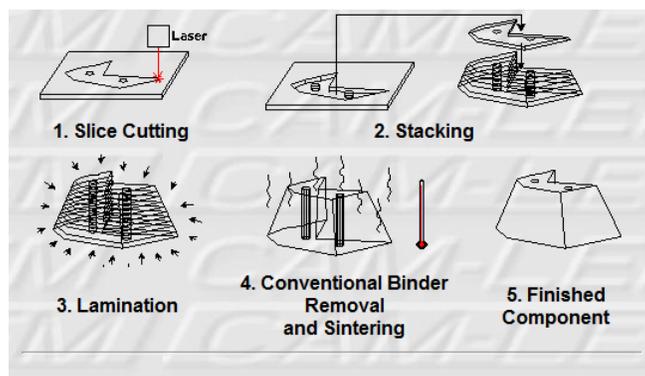


Ilustración 97. Esquema fabricación por laminación.

FUENTE: CAM-LEM INC.

### 5.1.5. Aplicación a chorro de ligante (Binder Jetting- 3D Printing)

Descripción: Se deposita selectivamente un aditivo ligante sobre una capa de polvo cerámico para consolidarla.

Tolerancia: 0.05 – 1.00 mm

Ventajas:

- Amplia variedad de materiales.
- Baja complejidad tecnológica.
- Velocidad de deposición relativamente alta.

Limitaciones:

- Alta porosidad y rugosidad de la superficie.
- Alto costo de la tecnología.
- Bajas propiedades mecánicas.
- Uso de ligantes orgánicos tóxicos.

Tipos:

- Impresión 3D de polvo seco (P 3DP): Se depositan capas sucesivas de polvo cerámico seco mediante una rasqueta y se aplica selectivamente el ligante mediante una cabeza inkjet a cada capa.
- Impresión 3D de suspensión (S 3DP): Se depositan a chorro capas sucesivas de una suspensión cerámica, se secan y se aplica selectivamente el ligante mediante una cabeza inkjet a cada capa para cementar las partículas.

Patentes relacionadas:

- ([US8568649](#)): Three-dimensional printer, ceramic article and method of manufacture.
- ([US20150069649](#)) Powder Particle Layer wise Three-Dimensional Printing Process.
- ([US20110300248](#)) Three-dimensional object-forming apparatus.

- [\(US20100247742\)](#) Three-dimensional object forming apparatus and method for forming three-dimensional object

Aplicaciones comerciales:

ARGILLASYS ( <http://www.argillasys.com/about/> )

INGLATERRA



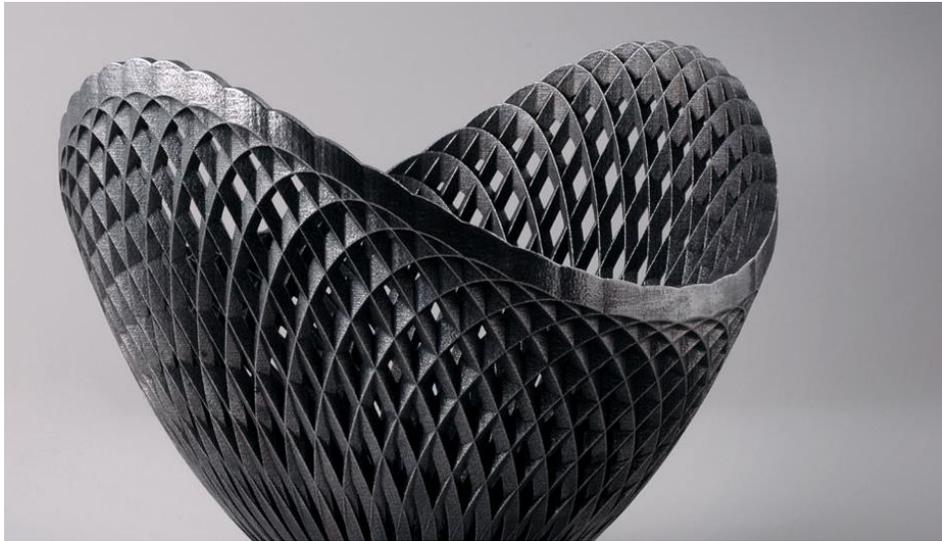
**Ilustración 98. Objeto en porcelana fabricado por Aplicación a Chorro de ligante.**

FUENTE: ARGILLASYS

Compañía desarrollada a partir de investigaciones del Centre for Fine Print Research - University of the West of England. Actualmente ofrece servicios para el prototipado de objetos en porcelana por impresión a chorro de ligante sobre un lecho de polvo cerámico con formulación registrada. Utilizan impresoras desarrolladas por ZCorp (actualmente 3D SYSTEMS) para un tamaño máximo de pieza de 250 mm. Ha desarrollado proyectos con el fabricante de porcelana DENBY.

ExONE ( <http://www.exone.com/> )

EEUU - Alemania



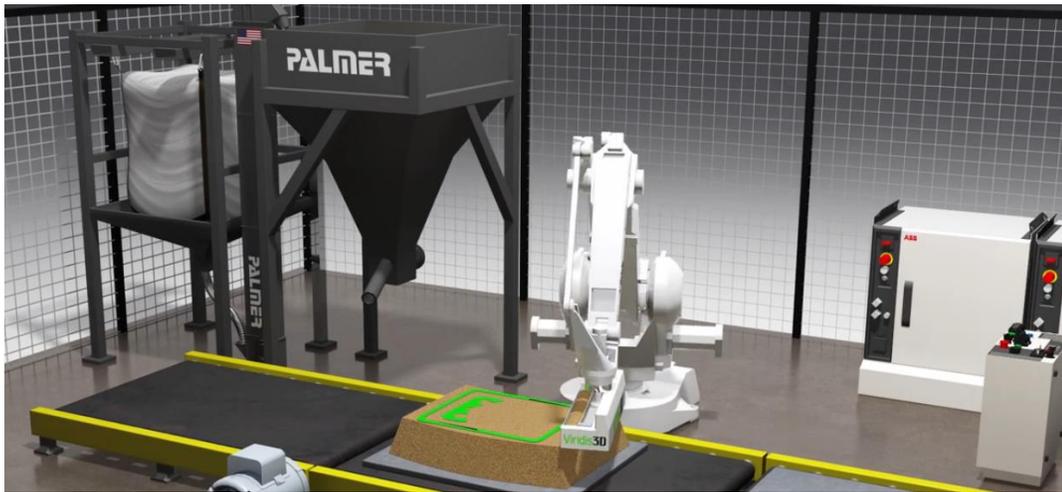
**Ilustración 99. Objeto fabricado por Aplicación a Chorro de ligante. Diseño Carl Bass.**

FUENTE: ExONE

Compañía fundada en 2005 como subsidiaria del fabricante de piezas aeronáuticas Extrude Hone Corporation, se especializa en la impresión 3D de moldes de arena para fundición de piezas metálicas. La tecnología fue desarrollada en Alemania por la compañía Generis en 1999, que pasó a ser Prometal RCT como parte de ExONE. En 2010 presentó su el modelo de impresora S-Max considerada la mayor impresora de arena en el mundo. En el campo de la impresión directa de metales la compañía licenció en 1996 la tecnología 3DP (three-dimensional printing) desarrollada por el Massachusetts Institute of Technology (<http://www.mit.edu/~tdp/index.html>), a partir de esta tecnología desarrollo capacidad de impresión en múltiples materiales como arena de sílice, cerámica, acero inoxidable, bronce y vidrio. Se destaca su oferta de sistemas industriales con capacidad de producir dimensiones de 2200 x 1200 x 700 mm a una velocidad de entre 300 y 400 L/h.

VIRIDIS (<http://www.viridis3d.com/> )

EEUU



**Ilustración 100. Esquema del sistema robotizado para producción de moldes de arena.**

FUENTE: VIRIDIS

Compañía fundada en 2010 especializada en el suministro de equipos robotizados de inyección de chorro de ligante para la producción de moldes de arena. Este tipo de sistemas usa un brazo robótico para depositar la capa de arena y simultáneamente aplicar el ligante sin necesidad de operar dentro de un volumen confinado, lo cual le puede ser versátil en un ambiente de producción de piezas de mayor tamaño. Incluyen en su portafolio de materiales arcillas para conformar piezas cerámicas. La célula de manufactura robótica puede depositar hasta un área de 14400 cm<sup>2</sup> con una altura de hasta 650 mm y un ancho hasta 685 mm.

VOXELJET (<http://www.voxeljet.de/en/systems/vx4000/> )

ALEMANIA



Ilustración 101. Ejemplo molde de arena para vaciado de silla en aluminio.

FUENTE: VOXELJET

Compañía fundada en 1999 por la Universidad Técnica de Múnich. Suministra sistemas de fabricación por inyección de chorro ligante con dimensiones máximas de 4.000 x 2.000 x 1.000 mm. Ofrece equipos de operación continua en los que la deposición del material se hace sobre una banda, permitiendo desplazar las piezas fabricadas una vez terminado el ciclo de deposición para simultáneamente hacer la limpieza y recuperación del polvo no consolidado.

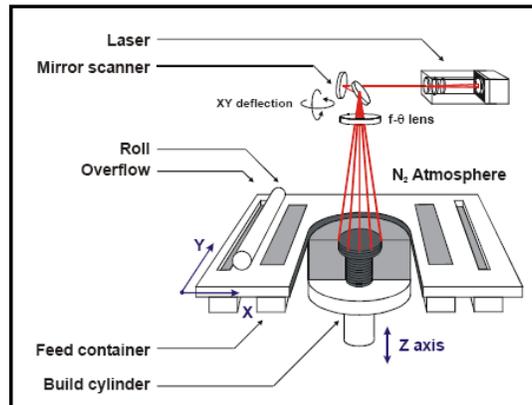
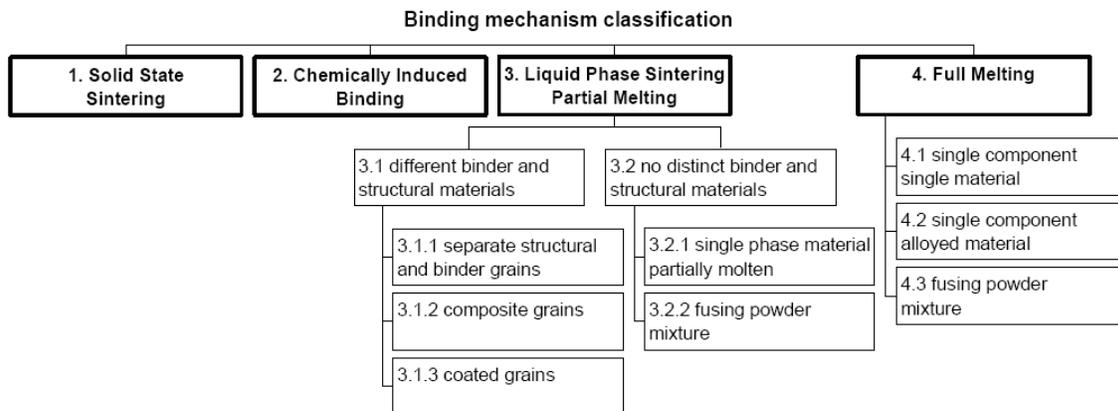


Ilustración 102. Esquema de un sistema láser para sinterización o fusión selectiva.

FUENTE: (Kruth et al., 2005)



**Ilustración 103. Tipos y subtipos de los mecanismos de sinterización o fusión.**

FUENTE: (Kruth et al., 2005)

### **5.1.6. Fusión completa de capa de polvo de un paso (Single-Step powder bed fusion by full melting, Selective Laser Melting)**

Descripción: Mediante un láser aplicado en zonas definidas en donde se funde totalmente una capa de polvo cerámico que se solidifica la enfriarse y el polvo restante no solidificado se retira posteriormente.

Tolerancia: 0.2 – 0.5 mm

Ventajas:

- Altas ratas de Producción.
- Diseños complejos.
- Bajos costos.
- Buen acabado superficial.

Limitaciones:

- Rugosidad superficial
- Bajas propiedades mecánicas
- Sólo aplica a materiales que absorban radiación Infrarroja.

#### Tipos:

- Deposición convencional: Se depositan capas de polvo seco y se funden selectivamente ciertas zonas mediante un láser. Algunos métodos precalientan la totalidad del polvo hasta un punto cercano a la fusión para controlar la formación de grietas asociadas al choque térmico por el calentamiento súbito del láser.
- Deposición en suspensión: Se aplican capas de suspensión de material cerámico en agua que posteriormente se secan y se funden selectivamente ciertas zonas mediante láser.
- Deposición asistida por spray aerosol: Se aplican en forma de spray aerosol las capas de suspensión de material cerámico en un solvente volátil, posteriormente se funden selectivamente ciertas zonas mediante láser.

#### Patentes relacionadas:

- ([US20150198052](#);) METHOD FOR MANUFACTURING A METALLIC OR CERAMIC COMPONENT BY SELECTIVE LASER MELTING ADDITIVE MANUFACTURING.
- ([WO2014107204](#)) ADDITIVE MANUFACTURE OF TURBINE COMPONENT WITH MULTIPLE MATERIALS.
- ([WO2015001241](#)) PROCESS FOR ADDITIVE MANUFACTURING OF PARTS BY MELTING OR SINTERING PARTICLES OF POWDER(S) USING A HIGH-ENERGY BEAM WITH POWDERS ADAPTED TO THE TARGETED PROCESS/MATERIAL PAIR .
- ([WO2014200595](#)) DIRECT WRITING FOR ADDITIVE MANUFACTURING SYSTEMS.
- ([EP2893994](#)) METHOD FOR MANUFACTURING A METALLIC OR CERAMIC COMPONENT BY SELECTIVE LASER MELTING ADDITIVE MANUFACTURING.
- ([US20150165524](#)) ADDITIVE MANUFACTURING OF THREE-DIMENSIONAL ARTICLES.
- ([US20150165525](#)) ADDITIVE MANUFACTURING OF THREE-DIMENSIONAL ARTICLES.
- ([US20130168902](#)) METHOD FOR PRODUCING A THREE-DIMENSIONAL COMPONENT

Aplicaciones comerciales:

SLM SOLUTIONS ([http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?index\\_en](http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?index_en))

ALEMANIA



**Ilustración 104. Equipo de fabricación por fusión láser de SLM Solutions.**

FUENTE: SLM SOLUTIONS

Compañía originada con el nombre MCP en el área de refinación y producción de piezas metálicas, con filiales en toda Europa, a partir del año 2000 introducen en mercado la tecnología de fabricación por sinterización láser, produciendo piezas en aluminio y titanio desde el año 2006 y conformando una unidad independiente especializada en el tema en el año 2008, que se escinde del resto de la compañía en el año 2010 y cambia al nombre actual SLM SOLUTIONS desde 2011. Comercializa equipos para sinterización láser para fabricar piezas con dimensiones máximas de 500 x 280 x 325 mm.

REALIZER (<http://www.realizer.com/en/> )

ALEMANIA



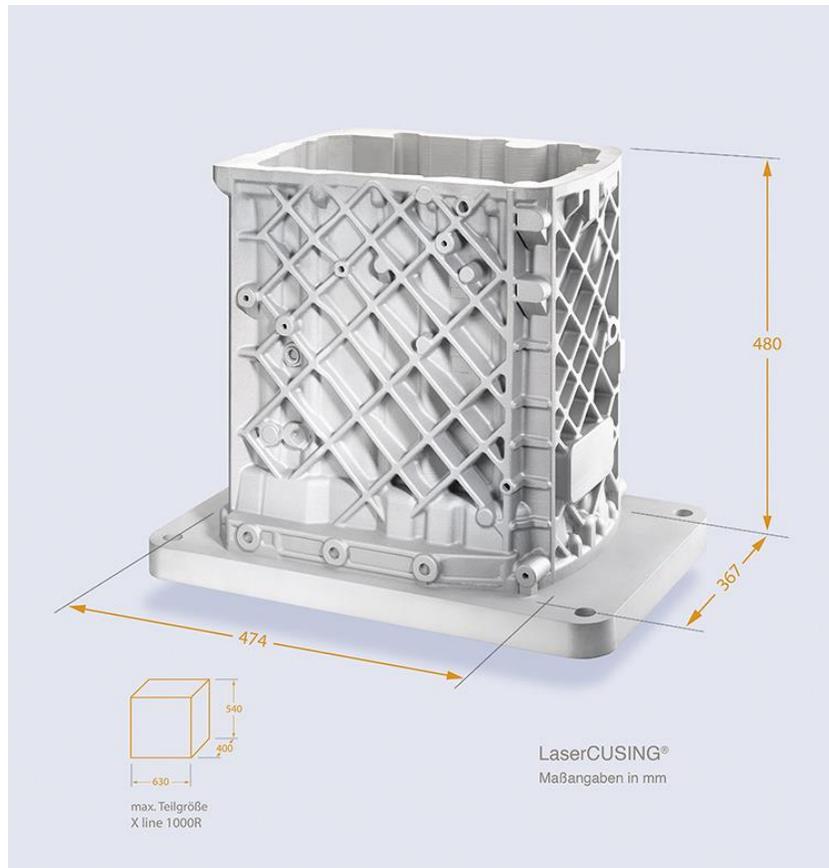
**Ilustración 105. Pieza metálica de alta complejidad fabricada por fusión láser.**

FUENTE: REALIZER

Empresa fundada en 2004 para comercializar equipos para fabricación de partes metálicas por de fusión láser con la tecnología que la compañía F&S tenía en desarrollo desde 1997. Su tecnología permite fabricar con tamaño máximo 300 x300 x 300 mm.

CONCEPTLASER (<http://www.concept-laser.de/en/home.html> )

ALEMANIA



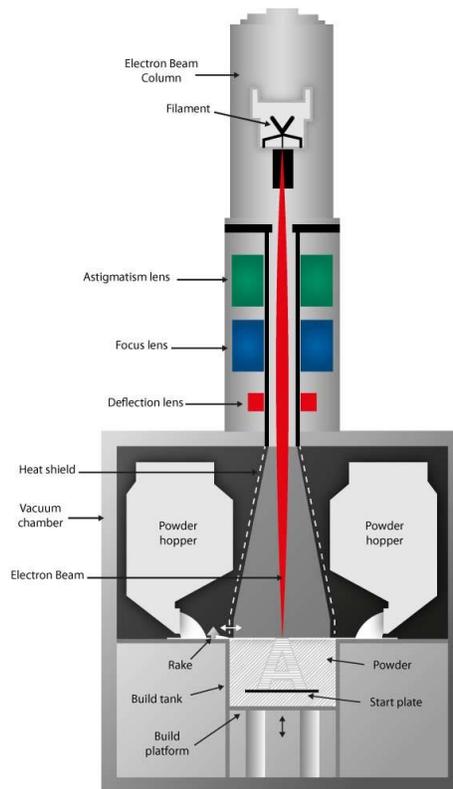
**Ilustración 106. Pieza metálica automotriz fabricada por fusión láser.**

FUENTE: CONCEPTLASER

Compañía proveedora de equipos para la fabricación de partes metálicas por fusión láser. Su tecnología permite fabricar tamaños máximos de 800 x 400 x 500 mm. Afirma incorporar mejoras en el control del proceso para optimizar la calidad de las partes producidas.

ARCAM AB (<http://www.arcam.com/> )

SUECIA



**Ilustración 107. Esquema Tecnología Electron Beam Melting (EBM).**

FUENTE: ARCAM AB

Compañía fundada en 1997, ubicada en la ciudad de Mölndal, Suecia. Enfocada en la comercialización de equipos para fabricación de partes metálicas complejas, principalmente de uso ortopédico. Su tecnología reemplaza el láser por un rayo de electrones de alta energía que ejecutan la fusión en una cámara de vacío con una atmósfera de helio controlada. Permite producir piezas cuyas dimensiones se circunscriban en un diámetro de 350 x 380 mm de altura máxima.

BINHU (<http://www.binhurp.com/en/> )

CHINA



**Ilustración 108. Equipo Selective Laser Sintering de la compañía BINHU.**

FUENTE: BINHU

Compañía basada en la ciudad de Wuhan, provincia de Hubei, fabricante de equipos para sinterización láser, fusión láser y foto polimerización. Capacidad de producir piezas con dimensiones de hasta 1400x1400x500.

#### **5.1.7. Fusión parcial de capa de polvo de un paso (Single-Step powder bed fusion by partial melting)**

Descripción: Mediante un láser aplicado en zonas definidas de una capa de polvo cerámico contiene una mezcla de partículas, con una fracción que se funden al aplicar el láser y actúan como un ligante que al enfriarse se solidifica uniendo las partículas de mayor punto de fusión que permanecieron sólidas durante el proceso.

Tolerancia: 0.2 – 0.5 mm

Ventajas:

- Altas tasas de Producción.
- Diseños complejos.
- Bajos costos.

- Buen acabado superficial.

Limitaciones:

- Rugosidad superficial
- Bajas propiedades mecánicas
- Sólo aplica a materiales que absorban radiación Infrarroja.

Tipos:

- Deposición convencional: Se depositan capas de polvo seco y se funden selectivamente zonas mediante un láser.
- Deposición en suspensión: Se aplican capas de suspensión de material cerámico en agua que posteriormente se secan y se funden selectivamente mediante láser.
- Deposición asistida por spray aerosol: Se aplican en forma de spray aerosol las capas de suspensión de material cerámico en un solvente volátil, posteriormente se funden selectivamente mediante láser.
- Cuchilla anular (Ring Blade): Se usa un dispositivo para depositar y compactar las capas de polvo cerámico seco no aglomerado. Posteriormente se funden selectivamente mediante un láser de pulsos.

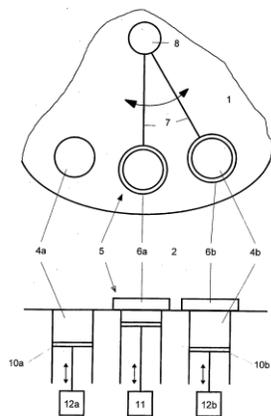
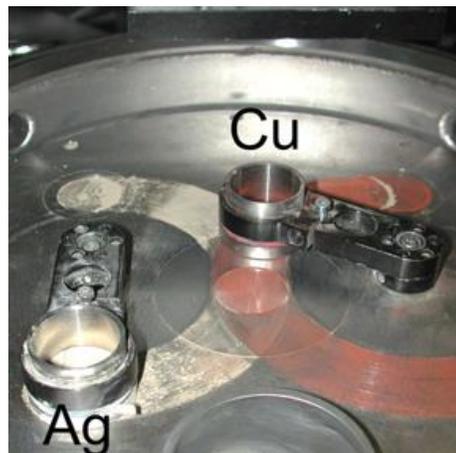


Fig. 2



**Ilustración 109. Esquema deposición polvos por Cuchilla Anular (Ring Doctor Blade).**

FUENTE: (Regenfuss et al., 2007)

- Deposición Electroforética: Se depositan capas desde una suspensión de material cerámico mediante corriente eléctrica y posteriormente se funden selectivamente mediante láser.

Patentes relacionadas:

- [\(US20070145629\)](#) Method and device for producing miniature objects or micro structured objects

Aplicaciones comerciales: No se identificaron.

#### **5.1.8. Fusión por sinterización de estado sólido de capa de polvo de un paso (Single-Step powder bed fusion by solid state sintering)**

Descripción: Mediante un láser aplicado en zonas definidas de una capa de polvo cerámico precalentado a temperatura inferior a la fusión se logra sinterizar y unir así las partículas sin fusión total de las mismas.

Tolerancia: 0.2 – 0.5 mm

Ventajas:

- Altas tasas de Producción.
- Diseños complejos.
- Bajos costos.
- Buen acabado superficial.

Limitaciones:

- Rugosidad superficial
- Sólidos de alta porosidad y bajas propiedades mecánicas
- Sólo aplica a materiales que absorban radiación Infrarroja.
- Requiere tiempos largos de exposición al láser.
- Puede requerir procesos posteriores de infiltración para ser eliminar porosidad.

Tipo:

- Deposición convencional: Se depositan capas de polvo seco y se sinterizan selectivamente zonas mediante un láser.

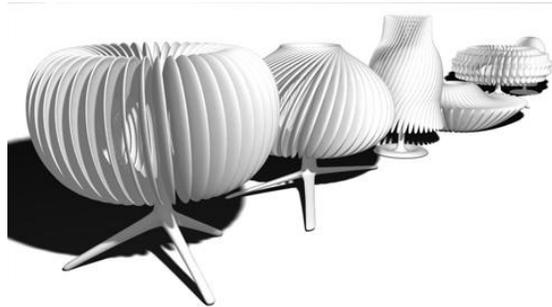
Patentes relacionadas:

- [\(US20150202687\)](#) MACHINE AND METHOD FOR POWDER-BASED ADDITIVE MANUFACTURING.
- [\(US4863538\)](#) Method and apparatus for producing parts by selective sintering
- [\(US5597589\)](#) Apparatus for producing parts by selective sintering.
- [\(US5639070\)](#) Method for producing parts by selective sintering.
- [\(US20150034604\)](#) LASER ADDITIVE MANUFACTURE OF THREE-DIMENSIONAL COMPONENTS CONTAINING MULTIPLE MATERIALS FORMED AS INTEGRATED SYSTEMS.
- [\(US20110107967\)](#) Method and apparatus for combining particulate material.

Aplicaciones comerciales:

EOS GmbH (<http://www.eos.info/en> )

ALEMANIA



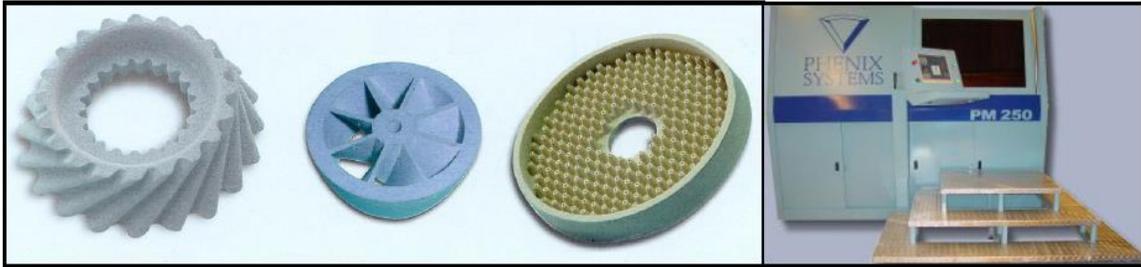
**Ilustración 110. Lámparas fabricadas con la tecnología de EOS. Diseño Assa Ashuach.**

FUENTE: EOS

Compañía fundada en 1989 especializada en la fabricación de piezas por sinterización láser en plástico y metal diversos para las industrias médicas, odontológicas, aeroespaciales y del automóvil.

PHENIX SYSTEMS (<http://www.phenix-systems.com/en> )

FRANCIA



**Ilustración 111. Tipología piezas obtenidas por sinterización en estado sólido.**

FUENTE: PHENIX SYSTEMS

Esta compañía (ahora integrada con 3DSYSTEM) fue fundada en 2000 partiendo de tecnología desarrollada en la Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle. Este conocimiento especializado en materiales cerámicos se centra en la deposición de capas partiendo de polvos con tamaños de partícula de entre 6 y 9 micrones, lo cual permite un mejor control del gradiente térmico durante la sinterización láser, mejorando la calidad de la pieza producida y de su superficie, su integridad estructural y el nivel de detalle obtenido. Sus equipos permiten fabricación de piezas con dimensiones máximas de 250 x 250 x 300 mm.

#### **5.1.9. Fusión de capa de polvo inducida por liga química (Selective Laser Reaction Sintering)**

Descripción: Mediante un láser aplicado en zonas definidas de una capa de polvo cerámico se inicia una reacción química que resulta en unión de las partículas.

Tolerancia: 0.2 – 0.5 mm

Ventajas:

- Altas tasas de Producción.
- Diseños complejos.
- Bajos costos.
- Buen acabado superficial.

Limitaciones:

- Rugosidad superficial
- Bajas propiedades mecánicas
- Sólo aplica a materiales que absorban radiación Infrarroja.

Tipos:

- Deposición convencional: Se depositan capas de polvo seco y se genera la reacción química selectivamente en zonas mediante un láser.
- Deposición en suspensión: Se aplican capas de suspensión de material cerámico en agua que posteriormente se secan y se genera la reacción química selectivamente en zonas mediante un láser.
- Cuchilla anular (Ring Blade): Se usa un dispositivo para depositar y compactar las capas de polvo cerámico seco no aglomerado formado por partículas sub micrométricas. Posteriormente y se genera la reacción química selectivamente en zonas mediante un láser.

Patentes asociadas:

- ([US5156697](#)) Selective laser sintering of parts by compound formation of precursor powders

Aplicaciones comerciales: No se identificaron.

### 5.1.10. Fusión parcial de capa de polvo de múltiple paso (Multi-Step powder bed fusion by partial melting)

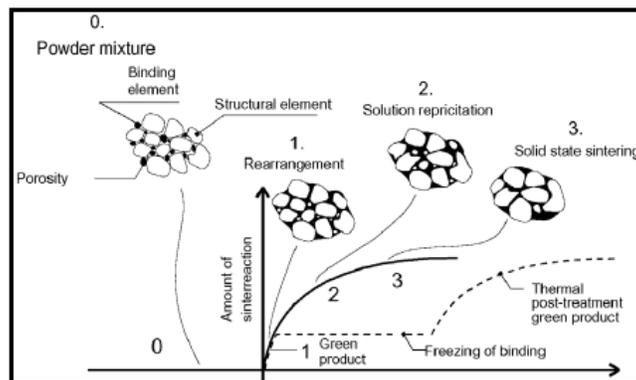


Ilustración 112. Esquema fenómeno de fusión parcial.

FUENTE: (Kruth et al., 2005)

Descripción: Mediante un láser aplicado en zonas definidas de una capa de polvo cerámico mezcladas con un aditivo ligante termoplástico, se logra la fusión de este resulta en unión de las partículas. Posteriormente en una etapa adicional se elimina el aditivo ligante o se logra la reacción de este para integrarse a la matriz cerámica y se hace la cocción en un horno del sólido completo para lograr densificación.

Tolerancia: 0.2 – 0.5 mm

Ventajas:

- Altas ratas de Producción.
- Diseños complejos.
- Bajos costos.
- Buen acabado superficial.

Limitaciones:

- Rugosidad superficial
- Bajas propiedades mecánicas
- Sólo aplica a materiales que absorban radiación Infrarroja.

Tipos:

- Deposición convencional: Se depositan capas de polvo seco y se genera la fusión del ligante selectivamente en zonas mediante un láser.
- Deposición en suspensión: Se aplican capas de suspensión de material cerámico en agua con el aditivo ligante que posteriormente se secan y se genera la fusión del ligante selectivamente en zonas mediante un láser.

Patentes asociadas:

- [\(US5431967\)](#) Selective laser sintering using nanocomposite materials.

Aplicaciones comerciales: No se identificaron

### **5.1.11. Fusión por gelificación de capa suspensión de múltiple paso (Multi-Step powder bed fusion by gelling)**

Descripción: Mediante un láser aplicado en zonas definidas de una capa suspensión coloidal de materiales cerámicos en un solvente se logra la gelificación de la misma resultando en la unión de las partículas.

Tolerancia: 0.2 – 0.5 mm

Ventajas:

- Altas ratas de Producción.
- Diseños complejos.
- Bajos costos.
- Buen acabado superficial.

Limitaciones:

- Rugosidad superficial
- Bajas propiedades mecánicas
- Sólo aplica a materiales que absorban radiación Infrarroja.

Tipo:

- Deposición en suspensión: Se aplican capas de suspensión de material cerámico en agua con el aditivo ligante que posteriormente se secan y se genera la fusión del ligante selectivamente en zonas mediante un láser.

Patentes asociadas:

- [\(US20130307175\)](#) Method for producing a three dimensional green article.

Aplicaciones comerciales: No se identificaron.

### **5.1.12. Foto polimerización en cubeta (vat photo polymerization), Estéreo litografía (stereo lithography)**

Descripción: Mediante luz ultra violeta aplicada en zonas definidas de una suspensión de materiales cerámicos mezclado con foto polímeros en un solvente se logra la solidificación de la misma resultando en la unión de las partículas. Posteriormente en una etapa adicional se elimina el polímero y se hace la cocción en un horno del sólido completo para lograr densificación.

Tolerancia: 0.01 – 1 mm

Ventajas:

- Diseños complejos.
- Buen acabado superficial.
- Buenas propiedades mecánicas.
- Alta precisión.

Limitaciones:

- Alto costo de los fotopolímeros.
- Se requieren etapas de limpieza.
- Control de la precisión en el eje vertical.

Tipos:

- Estéreo litografía Macro: Busca la producción de piezas de tamaño significativo. Se aplican capas de suspensión de material cerámico en foto polímero y se genera la reacción de polimerización selectivamente en zonas mediante un láser UV, con sistemas digitales LED de proyección de imágenes. La iluminación puede hacerse desde la superficie de la cubeta incrementando el nivel de la suspensión, o desde el fondo de la misma a través de una pared transparente levantando la pieza para permitir que una nueva capa de suspensión ocupe fondo de la cubeta.
- Estéreo litografía Micro: Busca la producción de piezas de geometría compleja a escala sub milimétrica en un proceso análogo al macro pero que requiere dispositivos ópticos de alta resolución.

Patentes asociadas:

- [\(US4575330\)](#) Apparatus for production of three-dimensional objects by stereo lithography
- [\(WO2014033027\)](#) METHOD FOR CONSTRUCTING A SHAPED BODY
- [\(WO2015080888\)](#) RAPID 3D CONTINUOUS PRINTING OF CASTING MOLDS FOR METALS AND OTHER MATERIALS.
- [\(US20090256284\)](#) Method for producing ceramic stereo lithography parts.
- [\(US20150097315\)](#) CONTINUOUS LIQUID INTERPHASE PRINTING

Aplicaciones comerciales:

ADMATEC / FORMATEC ( <http://www.formatec.nl/en/information/41-printing-ceramics-2.html> )

Holanda

Empresa fundada en 2013 por la compañía fabricante de piezas cerámicas por inyección FORMATEC y los centros de consultoría tecnológica ECN e INNOTECH. La tecnología denominada ADMAFLEX combina la proyección de imágenes DLP (Digital Light Processing) para el curado selectivo de una suspensión de material cerámico en una resina foto polimérica.



**Ilustración 113. Piezas cerámicas por el proceso ADMAFLEX de ADMATEC.**

Fuente: ADMATEC

3D CERAM (<http://www.ceramaker.com/?lang=en> <http://3dceram.com/es> )

FRANCIA



Ilustración 114. Piezas cerámicas por el proceso 3D CERAM.

Fuente: 3DCERAM

Empresa ubicada en Limoges, uno de los principales centros de la industria cerámica europea, fue creada en 2001 a partir de las tecnologías desarrolladas por el Centro de Transferencia de Tecnología Cerámica, provee servicios de asistencia técnica y fabricación de piezas cerámicas por estéreo litografía láser.

LITHOZ (<http://www.lithoz.com/en/> )

AUSTRIA

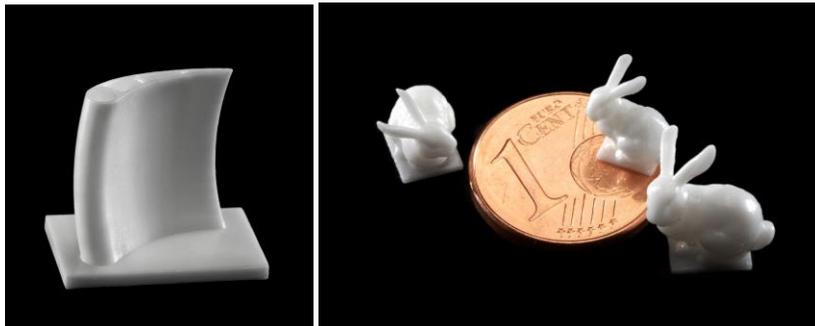


Ilustración 115. Ejemplo piezas cerámica fabricada por en impresora LITHOZ CeraFab 7500

FUENTE: LITHOZ.

Compañía fundada en la Universidad Tecnológica de Viena (UT WIEN) y que cuenta con financiación de la compañía EOS, una compañía alemana líder en la fabricación de piezas por sinterización láser.

Esta tecnología se basa en un proceso estéreo litográfico con resinas foto poliméricas, curadas mediante un sistema de proyección de imágenes basado en LED, lo cual le permite obtener un gran nivel de detalle. Es comercializada como la impresora CeraFab 7500 con capacidad de fabricar piezas de dimensiones máximas 76 mm x 43 mm x 150 mm en material de tipo estándar como Alúmina, Zirconio y Fosfato de Calcio (material tipo hueso), también se ha desarrollado la impresión en materiales especiales como vitro cerámicas, nitruros y carburos.

CARBON 3D (<http://carbon3d.com/>)

EEUU

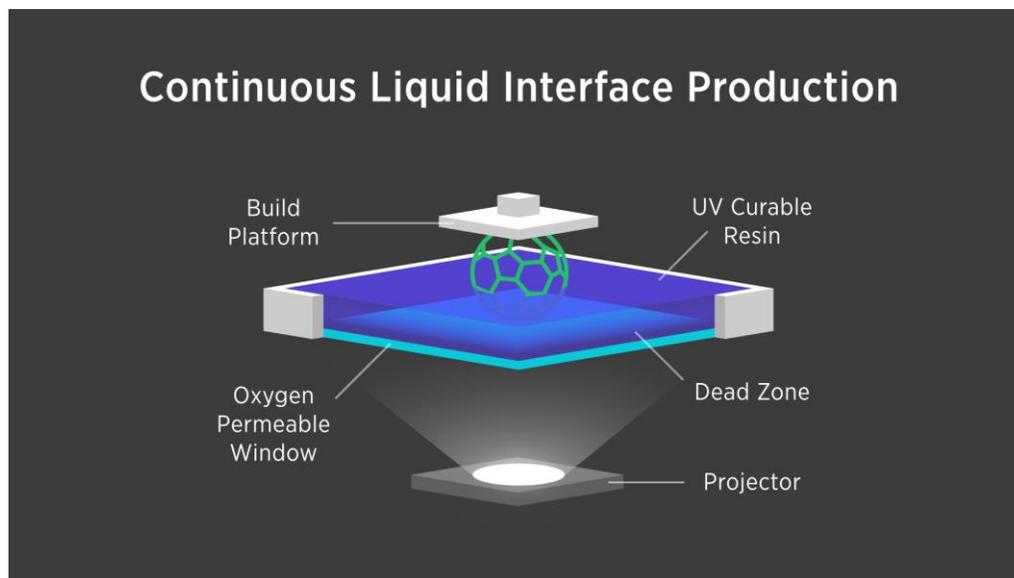


Ilustración 116. Esquema tecnología Continuous Liquid Interface Production (CLIP).

FUENTE: CARBON 3D

Compañía fundada en 2013 basada en la tecnología Continuous Liquid Interface Production (CLIP), un proceso de foto polimerización basado en el uso de una ventana transparente y permeable al oxígeno, el cual actúa como inhibidor de la reacción de foto polimerización, de tal forma que permite crear una zona en la cual la resina permanece líquida a pesar de estar expuesta a la luz, permitiendo que la exposición de la pieza durante su fabricación se haga desde el fondo de un tanque en forma continua, sin necesidad de la deposición de capas de resina, acelerando significativamente el proceso

de conformación de la pieza. Adicionalmente la compañía afirma que la tecnología mejora la consistencia de las piezas fabricadas al reducir la separación entre las capas depositadas. Al ser estos dos factores las principales debilidades que impiden la masificación de las tecnologías de manufactura aditiva se considera que el desarrollo futuro de esta tecnología tiene un gran potencial práctico. A la fecha el proceso trabaja exclusivamente con materiales poliméricos y aún no comercializa productos o servicios al público.

3DSYSTEMS (<http://www.3dsystems.com/3d-printers/production/overview> )

EEUU



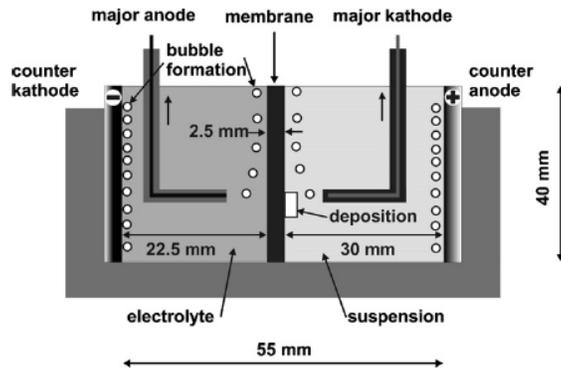
**Ilustración 117. Contenedor de Vidrio modelado en impresión 3D, Vladimirsky Center for Glassware and Containers.**

FUENTE: 3DSYSTEMS

Compañía localizada en Carolina del Norte, oferta impresoras y servicios de impresión 3D. En su amplia línea de equipos para producción ofrece las tecnologías de foto polimerización, sinterización láser e impresión directa en metal. Permiten la producción de partes con un tamaño de hasta 1500 x 750 x 550 mm.

### **5.1.13. Deposición Electroforética (Electrophoretic Deposition)**

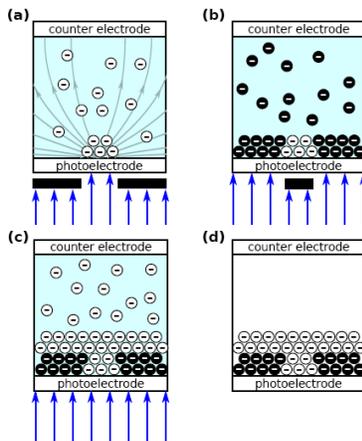
Descripción: Se logra la deposición controlada desde una suspensión de partículas cerámicas mediante la aplicación de un campo eléctrico usando electrodos. (Nold, Zeiner, Assion, & Clasen, 2010)



**Ilustración 118. Esquema deposición electroforética con electrodo móvil.**

FUENTE: (Nold et al., 2010)

En el laboratorio Lawrence Livermore se ha desarrollado una técnica de deposición electroforética dirigida por luz que permite la deposición controlada de materiales para formar sólidos tridimensionales usando un electrodo fotosensible que se expone a patrones de luz durante la deposición (Pascall et al., 2014)



**Ilustración 119. Esquema deposición electroforética dirigida por luz.**

FUENTE: (Pascall et al., 2014)

Tolerancia: 4 – 7 mm

Ventajas:

- Alta velocidad en la formación de capas.

- La velocidad de deposición es independiente al tamaño de partícula lo que elimina gradientes de densidad en las capas depositadas.
- Permite la fabricación de compuestos multicapas de diferentes materiales.

Limitaciones:

- Se requiere el uso de solventes orgánicos para evitar formación de burbujas por hidrólisis del agua.
- La dificultad de controlar la forma del campo eléctrico limita el tipo de formas tridimensionales que pueden ser producidas con la técnica, la cual es más susceptible para la deposición de recubrimientos sobre objetos conductores.

Patentes asociadas:

- [\(US20070071631\)](#) Method for Producing Metallic Components, Corresponding Metallic Components and Kit for Carrying Out the Method.
- [\(US20060118990\)](#) Process for the production of a rapid prototyping model, a green compact, a ceramic body, a model with a metallic coating and a metallic component, and use of a 3D printer.
- [\(US20090095629\)](#) Device and Method for Electrophoretic Deposition with a Movable Electrode.

Aplicaciones comerciales: No se identificaron.

## COMUNICACIÓN: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para efectos de la aplicación práctica los hallazgos de este trabajo se plantean:

- Se confirma la hipótesis de que un ejercicio de vigilancia tecnológica permite a la industria identificar opciones de desarrollo tecnológico, en la literatura relacionada con el campo de la cerámica técnica se identifican en 16 tecnologías asociadas a procesos de conformación por colaje de materiales cerámicos las cuales en principio podrían ser adaptables a futuros desarrollos en la industria de la manufactura de productos en cerámica tradicional. Se recomienda continuar el monitoreo periódico las mismas para identificar novedades que puedan hacerlas más susceptibles para ejecutar dicha transferencia, siendo de particular interés: Manufactura aditiva (Solid free form fabrication), Formación por Hidrólisis (Hydrolysis assisted solidification), Colaje por coagulación directa (Direct coagulation casting).
- No obstante, las tecnologías de colaje tradicional (slip casting) y colaje alta presión (pressure slip casting), actualmente en uso en el campo de la cerámica tradicional, presentan una buena calificación con relación a los criterios identificados para esta evaluación, confirmando el grado de desarrollo y evolución histórica de las mismas hasta llegar a un punto de madurez, por lo cual se recomienda continuar invirtiendo en el mantenimiento y mejoramiento continuo de las mismas en la industria.
- En la Manufactura Aditiva (Solid Free Form Fabrication) se identifica potencial de desarrollo para el campo de la cerámica tradicional, basado tanto en la conclusión del análisis multicriterio como en la difusión de algunos tipos particulares en procesos industriales, tanto en cerámica como en otras industrias, donde permite fabricar piezas que se acercan a los requerimientos de tamaño, productividad y diseño similares a los requeridos para la cerámica tradicional. Se recomienda por tanto continuar con el proceso transferencia y desarrollo tecnológico en el campo de la cerámica para las siguientes tipologías de manufactura aditiva: Extrusión de Material (Material Extrusion), aplicación a chorro de ligante (Binder Jetting – 3D Printing), Estéreo litografía (Stereo Lithography), Fusión completa de capa de polvo de un paso (Selective Laser Melting).
- Se confirma el valor de las metodologías de decisión multicriterio aplicadas a la gestión de la innovación tecnológica, permitiendo desarrollar análisis de selección de alternativas aún en los casos en los que se posee información teórica o limitada sobre el desempeño real de las alternativas. Se recomienda fomentar el estudio y aplicación de este tipo de herramientas en este campo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdullah, L., & Adawiyah, C. W. R. (2014). Simple Additive Weighting Methods of Multi criteria Decision Making and Applications : A Decade Review. *IJIPM: International Journal of Information Processing and Management*, 5(1), 39–49.
- Ahp, 123. (n.d.). 123ahp my choice my decision. Retrieved August 4, 2015, from <http://www.123ahp.com/>
- Al-Dawery, I. a. H., Binner, J. G. P., Tari, G., Jackson, P. R., Murphy, W. R., & Kearns, M. (2009). Rotary moulding of ceramic hollow wares. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(5), 887–891. <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.07.021>
- Araki, K., & Halloran, J. (2003). Ceramic Freeze Casting Technique with Sublimable Vehicles of Complex-shape Forming Techniques for Ceramics.
- Asthana, R., Kumar, A., & Dahotre, N. B. (2006). 3 - Powder Metallurgy and Ceramic Forming. In *Materials Processing and Manufacturing Science* (pp. 167–245). Academic Press. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-075067716-5/50005-4>
- Baizylidayeva, U., & Vlasov, O. (2013). Multi-Criteria Decision Support Systems. Comparative Analysis. *Middle-East Journal of ...*, 16(12), 1725–1730. <http://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2013.16.12.12103>
- Bana e Costa, C. A., De Corte, J. M., & Vansnick, J. C. (2003). *Macbeth*. London. Retrieved from [http://eprints.lse.ac.uk/22761/1/MACBETH\\_LSE\\_working\\_paper\\_0356\\_30set.pdf](http://eprints.lse.ac.uk/22761/1/MACBETH_LSE_working_paper_0356_30set.pdf)
- Bana e Costa, C. A., De Corte, J., & Vasnick, J. C. (2005). Software M-MACBETH version 1.1 Copyright.
- Barry Carter, C., & Grant Norton, N. (2013). *Ceramic Materials*.
- Battison, J. M. (n.d.). *Cold Isostatic Pressing (CIP)*.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, a., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198–215. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>
- Besra, L., & Liu, M. (2007). A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD). *Progress in Materials Science*, 52(1), 1–61. <http://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2006.07.001>

- Blackburn, S., & Wilson, D. I. (2008). Shaping ceramics by plastic processing. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(7), 1341–1351. <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.12.013>
- Boccaccini, a. R., & Zhitomirsky, I. (2005). Application of electrophoretic and electrolytic deposition techniques in ceramics processing - Part 2. *InterCeram: International Ceramic Review*, 54(4), 242–246. [http://doi.org/10.1016/S1359-0286\(02\)00080-3](http://doi.org/10.1016/S1359-0286(02)00080-3)
- Bushan, N., & Rai, K. (2004). The Analytic Hierarchy Process. In *Strategic Decision Making* (pp. 11–21). Springer. Retrieved from <http://www.springer.com/978-1-85233-756-8>
- Castells, P. E., & Valls Pasola, J. (2009). *Tecnología e innovación en la empresa* (1st ed.). Barcelona: EDICIONS UPC.
- Chartier, T., Dupas, C., Lasgorceix, M., Brie, J., Champion, E., Delhote, N., & Chaput, C. (2015). Additive Manufacturing to Produce Complex 3D Ceramic Parts. *Journal of Ceramic Science and Technology*, 06(02), 95–104. <http://doi.org/10.4416/JCST2014-00040>
- Chartier, T., Dupas, C., Lasgorceix, M., Brie, J., Champion, E., Delhote, N., ... Introduction, I. (2015). Additive Manufacturing to Produce Complex 3D Ceramic Parts, *m*, 95–104. <http://doi.org/10.4416/JCST2014-00040>
- Corni, I., Ryan, M. P., & Boccaccini, A. R. (2008). Electrophoretic deposition: From traditional ceramics to nanotechnology. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(7), 1353–1367. <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.12.011>
- Da Silva, A. L., Bernardin, A. M., & Hotza, D. (2014). Forming of thin porcelain tiles: A comparison between tape casting and dry pressing. *Ceramics International*, 40(2), 3761–3767. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.09.044>
- Da Silva, A. L., Michael Bernardin, A., & Hotza, D. (2013). Forming of thin porcelain tiles: a comparison between tape casting and dry pressing. *Ceramics International*, 1–7. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.09.044>
- Dawson, L. E. (1964). Slip Casting: A ceramic technique invented in ancient Peru. *Ñawpa Pacha: Journal of Andean Archaeology*, (2), 107–111.
- Deckers, J., Vleugels, J., Kruth, J., & Introduction, I. (2014). Additive Manufacturing of Ceramics : A Review, 260, 245–260. <http://doi.org/10.4416/JCST2014-00032>
- Deville, S. (2008). Freeze-Casting of Porous Ceramics: A Review of Current Achievements and Issues. *Advanced Engineering Materials*, 10(3), 155–169. <http://doi.org/10.1002/adem.200700270>

- Deville, S. (2010). Freeze-Casting of Porous Biomaterials: Structure, Properties and Opportunities. *Materials*, 3(3), 1913–1927. <http://doi.org/10.3390/ma3031913>
- Deville, S. (2013). Ice-templating, freeze casting: Beyond materials processing. *Journal of Materials Research*, 28(17), 2202–2219. <http://doi.org/10.1557/jmr.2013.105>
- Edwards, W., & Barron, F. H. (1994). SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60, 306–325.
- Evans, J. R. G. (2008). Seventy ways to make ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(7), 1421–1432. <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.12.015>
- Figueira, J. R., Greco, S., Roy, B., & Slowinski, R. (2010). ELECTRE Methods: Main Features and Recent Developments. *CAHIER DU LAMSADE*. [http://doi.org/Doi10.1007/978-3-540-92828-7\\_3](http://doi.org/Doi10.1007/978-3-540-92828-7_3)
- Fu, Q., Jongprateep, O., Abbott, A., & Dogan, F. (2009). Freeze-spray deposition of layered alumina/zirconia composites. *Materials Science and Engineering: B*, 161(1-3), 120–124. <http://doi.org/10.1016/j.mseb.2008.12.014>
- Fülöp, J. (2001). *Introduction to Decision Making Methods*.
- Ganesh, I., Sundararajan, G., Olhero, S. M., Torres, P. M. C., & Ferreira, J. M. F. (2010). A novel colloidal processing route to alumina ceramics. *Ceramics International*, 36(4), 1357–1364. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2010.01.022>
- Gauckler, L. J., Graule, T., & Baader, F. (1999). Ceramic forming using enzyme catalyzed reactions. *Materials Chemistry and Physics*, 61(1), 78–102. [http://doi.org/10.1016/S0254-0584\(99\)00117-0](http://doi.org/10.1016/S0254-0584(99)00117-0)
- George, M., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2004). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to 100 Tools for Improving Process Quality, Speed and Complexity* (1st ed.). McGraw-Hill Education.
- Gilissen, R. U., Erauw, J. P., Smolders, A., Vanswijgenhoven, E., & Luyten, J. (2000). Gelcasting, a near net shape technique. *Materials and Design*, 21(4), 251–257.
- Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237–250. [http://doi.org/10.1016/0305-0483\(89\)90029-7](http://doi.org/10.1016/0305-0483(89)90029-7)
- Haggar, R. G. (1952). *The concise encyclopedia of continental pottery and porcelain. The concise encyclopedia of continental pottery and porcelain* (1st ed.). Hawthorn Books. Retrieved from <http://catalog.hathitrust.org/Record/001471472>
- Hotza, D., & Greil, P. (1995). Review : aqueous tape casting of ceramic powders. *Materials Science and Engineering: A*, 202, 206–217.

- Hovanov, N., Yudaeva, M., & Hovanov, K. (2009). Multicriteria estimation of probabilities on basis of expert non-numeric, non-exact and non-complete knowledge. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 857–863. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.018>
- Jiang, Q., & Chen, C. H. (2005). A multi-dimensional fuzzy decision support strategy. *Decision Support Systems*, 38(4), 591–598. <http://doi.org/10.1016/j.dss.2003.08.003>
- Kaiser, A., van Loo, R., Kraus, J., & Hadjuck, A. (2009). Comparison of Different Shaping Technologies for Advanced. *Process Engineering*, 86(4), 41–48.
- Kosmac, T., Novak, S., & Sajko, M. (1997). Hydrolysis-Assisted Solidification ( HAS ): A New Setting Concept for Ceramic Net-Shaping. *Journal of European Ceramic Society*, 17, 427–432.
- Kruth, J. P., Mercelis, P., Froyen, L., & Rombouts, M. (2005). Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting. *Rapid Prototyping Journal*, 11(1), 26–36. <http://doi.org/10.1108/13552540510573365>
- Li, R. (2001). *Temperature - Induced Direct Casting of SiC*. UNIVERSITÄT STUTTGART Max-Planck-Institut für Metallforschung.
- Licciulli, A. (2005). La formatura per Slip Casting. Retrieved from [http://www.antonio.licciulli.unisalento.it/didattica\\_2005/slip\\_casting\\_specialistica.pdf](http://www.antonio.licciulli.unisalento.it/didattica_2005/slip_casting_specialistica.pdf)
- Liu, W., Bo, T. Z., Xie, Z. P., Wu, Y., & Yang, X. F. (2011). Fabrication of injection moulded translucent alumina ceramics via pressureless sintering. *Advances in Applied Ceramics*, 110(4), 251–254. <http://doi.org/10.1179/1743676111Y.0000000005>
- Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*, 42(8), 4126–4148. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>
- Mazzanti, V. (2008). High pressure casting redraws the map of sanitaryware production. *Ceramic World Review*, 146–153.
- Medvedovski, E., & Peltsman, M. (2012). Low pressure injection moulding mass production technology of complex shape advanced ceramic components. *Advances in Applied Ceramics*, 111(5&6), 333–344. <http://doi.org/10.1179/1743676112Y.0000000025>
- Munda, G. (2005). “Measuring sustainability”: A multi-criterion framework. *Environment, Development and Sustainability*, 7(1), 117–134. <http://doi.org/10.1007/s10668-003-4713-0>

- Munda, G. (2006). A NAIADDE based approach for sustainability benchmarking. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 6(1/2), 65. <http://doi.org/10.1504/IJETM.2006.008253>
- Nold, a., Zeiner, J., Assion, T., & Clasen, R. (2010). Electrophoretic deposition as rapid prototyping method. *Journal of the European Ceramic Society*, 30(5), 1163–1170. <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2009.03.021>
- Novak, S., & König, K. (2009). Fabrication of alumina parts by electrophoretic deposition from ethanol and aqueous suspensions. *Ceramics International*, 35(7), 2823–2829. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.03.033>
- Omatete, O., Janney, M. A., & Nunn, S. D. (2008). Gelcasting: From Laboratory Development Toward Industrial Production, 2219(96).
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Pascall, A. J., Qian, F., Wang, G., Worsley, M. a., Li, Y., & Kuntz, J. D. (2014). Light-directed electrophoretic deposition: A new additive manufacturing technique for arbitrarily patterned 3D composites. *Advanced Materials*, 26(14), 2252–2256. <http://doi.org/10.1002/adma.201304953>
- Pfeifer, R., Wang, L., & Eyerer, P. (1999). Rapid Tooling of ceramic parts and molds using high pressure slip casting of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. *Proceedings of the SFF Symposium*, 615–622.
- Popovic, G., Stanujkic, D., & Stojanovic, S. (2012). Investment Project Selection By Applying Copras Method and Imprecise Data. *Serbian Journal of Management*. <http://doi.org/10.5937/sjm7-2268>
- Rahim, A., Sahab, M., Saad, N. H., Hamidi, A., & Said, D. (n.d.). Integrated Process of Ceramic Slip Using Rotating Technique, (1).
- Rajiv, A., Ashok, K., & Narendra, D. (2006). *3 Powder Metallurgy and Ceramic Forming* (Vol. 1203).
- Rak, Z. S. (2000). ADVANCED FORMING TECHNIQUES IN CERAMICS. In *Polish Ceramics 2000 conference*.
- Regenfuss, P., Streek, a., Hartwig, L., Klötzer, S., Brabant, T., Horn, M., ... Exner, H. (2007). Principles of laser micro sintering. *Rapid Prototyping Journal*, 13(4), 204–212. <http://doi.org/10.1108/13552540710776151>
- Ring, T. A. (1996). Ceramic Green Body Formation 13.1. In *Fundamentals of Ceramic Powder Processing and Synthesis* (pp. 609–679).

- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161–176. [http://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](http://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L. (n.d.). Super Decisions Software. Retrieved August 2, 2015, from <http://www.superdecisions.com/>
- Saaty, T. L. (2008a). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <http://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Saaty, T. L. (2008b). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *Revista de La Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas Y Naturales. Serie A. Matematicas*, 102(2), 251–318. <http://doi.org/10.1007/BF03191825>
- SACMI. (2013a). Impianti completi per l'industria dei sanitari in ceramica. Retrieved from <http://www.sacmi.com>
- SACMI. (2013b). SACMI ORIGINAL RESINS.
- SACMI, & ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE TÉCNICOS CERAMICOS. (2004). *Tecnología Cerámica Aplicada Volumen II* (1a ed., Vol. 2). Castellón de la Plana: Faenza Editrice Ibérica. <http://doi.org/10.1163/187122099X00065>
- Sakka, Y., & Uchikoshi, T. (2010). Forming and Microstructure Control of Ceramics by Electrophoretic Deposition ( EPD ). *KONA Powder and Particle Journal No.28 (2010)*, 28(28), 74–90.
- Sambrook, R. M., Binner, J., Davies, J., & McDermott, A. M. (1999). Manufacture of ceramic articles. United States.
- Santacruz, I., Nieto, M. I., Binner, J., & Moreno, R. (2009). Gel casting of aqueous suspensions of BaTiO<sub>3</sub> nanopowders. *Ceramics International*, 35(1), 321–326. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2007.10.009>
- Sato, K., Hotta, Y., Yilmaz, H., & Watari, K. (2009). Fabrication of green and sintered bodies prepared by centrifugal compaction process using wet-jet milled slurries. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(8), 1323–1329. <http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.08.026>
- Schafföner, S., & Aneziris, C. G. (2012). Pressure slip casting of coarse grain oxide ceramics. *Ceramics International*, 38(1), 417–422. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.06.064>
- Shulman, H., Spradling, D., & Hoag, C. (2012). Introduction To Additive Manufacturing. *Ceramic Industry*, 15–20. Retrieved from

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Introduction+to+Additive+Manufacturing#0>

- Simpson, L. (1994). *MAVT and Outranking A Comparison of Two Multi-Criteria Decision Analytic Methods*.
- Stanimirovic, Z., & Stanimirovic, I. (2012). Ceramic Injection Moulding. In J. Wang (Ed.), *Some Critical Issues for Injection Molding* (pp. 131–147). Rijeka: InTech. [http://doi.org/10.1016/0263-8223\(95\)00103-4](http://doi.org/10.1016/0263-8223(95)00103-4)
- Stanujkic, D., Magdalinovic, N., & Jovanovic, R. (2013). A Multi-Attribute Decision Making Model Based on Distance from Decision Maker ' s Preferences. *Informatica*, 24(1), 103–118.
- Steinlage, G. A., Roeder, R. K., Trumble, K. P., & Bowman, K. J. (1996). Centrifugal Slip Casting of Components. *The American Ceramic Society Bulletin*, 75(5), 92–94.
- Subramanian, N., & Ramanathan, R. (2012). A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 215–241. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.036>
- Sullivan, T. (2012). *Using MCDA ( Multi-Criteria Decision Analysis ) to prioritise publicly-funded health care*. University of Otago, Dunedin, New Zealand.
- Swerea IVF. (2013). Slip Casting and Pressure Slip Casting. Retrieved January 1, 2013, from <http://www.swerea.se/en/Start2/Working-Areas/Ceramics/>
- Tague, N. R. (2004). *The Quality Toolbox* (2nd ed.). ASQ Quality Press. Retrieved from <http://asq.org/learn-about-quality/decision-making-tools/overview/decision-matrix.html>
- Tallon, C., & Franks, G. V. (2011). Recent trends in shape forming from colloidal processing : A review. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 119(1387), 147–160. Retrieved from [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcersj2/119/1387/119\\_1387\\_147/\\_article/references](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcersj2/119/1387/119_1387_147/_article/references)
- Tam, C. M., Tong, T. K. L., & Chiu, G. W. C. (2006). Comparing non-structural fuzzy decision support system and analytical hierarchy process in decision-making for construction problems. *European Journal of Operational Research*, 174(2), 1317–1324. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.013>
- Tian, X., Li, D., & Heinrich, J. G. (2011). Net-Shaping of Ceramic Components by Using Rapid Prototyping Technologies. In C. Sikalidis (Ed.), *Advances in Ceramics - Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications* (pp. 291–310). InTech. Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/advances-in-ceramics-synthesis-and-characterization-processing-and-specific-applications/net-shaping-of-ceramic-components-by-using-rapid-prototyping-technologies>

- Turskis, Z., & Zavadskas, E. K. (2010). A new fuzzy additive ratio assessment method (ARAS-F). Case study: The analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location. *Transport*, 25(4), 423–432.  
<http://doi.org/10.3846/transport.2010.52>
- Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1–29.  
<http://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>
- Van Herwijnen, M. (2009). Multi – attribute value theory ( MAVT ). Retrieved from  
[http://www.ivm.vu.nl/en/Images/MCA1\\_tcm53-161527.pdf](http://www.ivm.vu.nl/en/Images/MCA1_tcm53-161527.pdf)
- Wallenius, J., Dyer, J. S., Fishburn, P. C., Steuer, R. E., Zionts, S., & Deb, K. (2000). Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: Recent Accomplishments and What Lies Ahead. *Management Science*, 54(7), 1336–1349.  
<http://doi.org/10.1287/mnsc.1070.0838>
- Wan, W., Yang, J., Zeng, J., Yao, L., & Qiu, T. (2014). Aqueous gelcasting of silica ceramics using DMAA. *Ceramics International*, 40(1), 1257–1262.  
<http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.06.048>
- Wiecek, M., Matthiasehrgott, Fadel, G., & Rui Figueira, J. (2008). Multiple criteria decision making for engineering. *Omega*, 36(3), 337–339.  
<http://doi.org/10.1016/j.omega.2006.10.001>
- Xie, R., Zhang, D., Zhang, X., Zhou, K., & Button, T. W. (2012). Gelcasting of alumina ceramics with improved green strength. *Ceramics International*, 38(8), 6923–6926.  
<http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.05.027>
- Yang, J., Yu, J., & Huang, Y. (2011). Recent developments in gelcasting of ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 31(14), 2569–2591.  
<http://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.12.035>
- Yang, Y., & Sigmund, W. M. (2003). A new approach to prepare highly loaded aqueous alumina suspensions with temperature sensitive rheological properties. *Journal of the European Ceramic Society*, 23(2), 253–261. [http://doi.org/10.1016/S0955-2219\(02\)00179-6](http://doi.org/10.1016/S0955-2219(02)00179-6)
- Yu, J., Yang, J., & Huang, Y. (2011). The transformation mechanism from suspension to green body and the development of colloidal forming. *Ceramics International*, 37(5), 1435–1451. <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.01.019>
- Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Sapauskas, J., & Turskis, Z. (n.d.). MCDM METHODS WASPAS AND MULTIMOORA : VERIFICATION OF ROBUSTNESS OF METHODS WHEN.

Zavadskas, E. K., Antuheviciene, J., Šaparauskas, J., & Turskis, Z. (2013). Multi-criteria assessment of facades' alternatives: Peculiarities of ranking methodology. *Procedia Engineering*, 57, 107–112. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.016>

## ANEXO 1 - DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS	
slip casting (SC)	Plaster mould	Solid	Se vierte en un molde de escayola porosa una suspensión de materiales cerámicos en agua, por el fenómeno de capilaridad el agua se extrae de la suspensión hacia las paredes del molde, ocasionando que se depositen las partículas sobre la superficie del mismo, formando una pared sólida. Una vez obtenido el espesor deseado el excedente de la suspensión se drena y se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.	
		Drain		
Pressure slip casting (PSC)	Porous Resin mould	High Pressure	Se vierte en un molde de resina sintética porosa una suspensión de materiales cerámicos en agua, aplicando presión sobre la barbotina y vacío el agua se extrae de la suspensión hacia las paredes del molde, ocasionando que se depositen las partículas sobre la superficie del mismo, formando una pared sólida. Una vez obtenido el espesor deseado el excedente se drena y se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.	
		Vaccum		Medium Pressure
		Pressure		

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
centrifugal slip casting (CSC)	Plaster mould	centrifugal slip casting (CSC)	Se vierte en un molde poroso una suspensión de materiales cerámicos en agua, aplicando rotación a alta velocidad por efectos de la fuerza centrífuga el agua se extrae de la suspensión hacia las paredes del molde, ocasionando que se depositen las partículas sobre la superficie del mismo, formando una pared sólida. Una vez obtenido el espesor deseado el excedente se drena y se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
	Centrifugation		
gelcasting (GC)	Polymerization	Acrylamide	Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua o alcohol, que contiene disuelto un sistema de componentes químicos que polimerizan mediante una reacción química conformando un gel estable que consolida las partículas. Una vez completado el tiempo de reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
	Metal mould	Meth-acrylamide	
	Teflon coated mould	2-hydroxyethyl acrylate	
	Plastic mould	Sodium Alginate	
	Wax mould	3-O- acryloyl-D-glucose (3-Akr-G)	
	liquid desiccant	Chitosan	
	Debinding	glycerol monoacrylate	
	metal ion complexation	polyvinyl alcohol (PVA)	
		Epoxy	
		d-fructose	
		1-O-acryloyl-D- fructose (1-Akr-F)	
		d-glucose	
		methylcellulose	
	hydantion epoxy resin		

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
		acrylic acid (AA)	
		Gelatin	
		Ovoalbumin	
		Bovine serum albumin (BSA)	
		colloidal silica	
		sucrose	
		wheat particles	
		Urea Formaldehyde (UF)	
		isobutylene	
		acryloyl compounds	
		glucose	
		fructose	
		galactose	
		Glycerol monoacrylate	
		poly(isobutylene-alt-maleic anhydride) (mPIAM)	
		sodium carboxymethylcellulose (Na-CMC)	
<b>temperature induced forming (TIF)</b>	Heath Transfer	starch consolidation casting (SCC) (amylose - amylopectin)	<b>Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua que contiene disuelto un sistema de componentes químicos que mediante un cambio en la temperatura conforman un gel estable que consolida las partículas. Una vez completado el tiempo de</b>

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
	thermoreversible gelation	Agarose / agar	reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
	temperature activated cross-linking	Carrageenan	
		polyester/polyamine	
		gellan gum	
<b>In situ coagulation rotary moulding (ICRM)</b>	Rotomolding	Glucono-delta lactone	Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua que contiene disueltos componentes químicos que sufren una reacción de hidrólisis relativamente lenta, inducida por temperatura o la acción de una enzima, ocasionando una reducción gradual del pH que afecta el estado de defloculación de la suspensión hasta el punto que se consolidan las partículas formando un sólido estable. Mediante la rotación del molde durante el período de reacción se logra que la suspensión cubra las paredes del mismo permitiendo obtener formas huecas. Una vez completado el tiempo de reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
<b>Direct Coagulation Casting (DCC)</b>	Enzyme catalyzed reactions	Urea (Thermally induced)	Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua que contiene disueltos componentes químicos que sufren una reacción de hidrólisis relativamente lenta, inducida por temperatura o la acción de una enzima, ocasionando una reducción gradual del pH o la liberación de una sal que afecta el estado de defloculación de la suspensión hasta el punto que se consolidan las partículas formando un sólido estable. Una vez completado el tiempo de reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
	pH shifting reactions	Urea-Urease	
	ionic strength increase	glucose-glucoseoxidase	
	Heath Transfer	Formamide (Thermally induced)	
	Hydrolysis	acetamide-amidase	
	Thermally activated decomposition	hexamethylenetetramine	

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
		1,2 Diacetylglyce rol (Thermally induced)	
		gluconic acid lactone (Thermally induced)	
		glucuronic acid lactone (Thermally induced)	
		Propane- sulfone	
		Propionamid e-amidase	
		Ethylacetate	
		Casein N,N- dimethylated - subtilisin(alc alase)	
		MgO / ammonium poly(acrylate )	
		sulfanilic acid	

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
hydrolysis assisted solidification (HAS)	Hydrolysis	Aluminum nitride	Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua que contiene suspendido Nitruro de Aluminio (AlN), el cual sufre una reacción de hidrólisis relativamente lenta, acelerada temperatura, consumiendo agua y liberando Amoníaco (NH3), ocasionando una incremento gradual del pH que afecta el estado de defloculación de la suspensión, generándose también Hidróxidos de Aluminio Al(OOH) que gelifican, contribuyendo todos estos factores a que se consoliden las partículas formando un sólido estable. Una vez completado el tiempo de reacción se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
Freeze Casting (FC)	Sublimation - Freeze drying	Water	Se vierte en un molde una suspensión de materiales cerámicos en agua o en otro solvente, se somete a bajas temperaturas de forma tal que el agua o solvente se cristaliza separándose de la suspensión y uniendo las partículas formando una sólido. Una vez obtenido completado el proceso de congelación se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada manteniéndola a bajas temperaturas. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado que debe hacerse por el fenómeno de sublimación, permitiendo que el solvente pase directamente al estado gaseoso, de forma tal que se mantenga la integridad de la pieza sólida porosa. Posteriormente se podrán ejecutar procesos de esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
	Sublimable solvents	Camphene	
	Vaccum	naphthalene-camphor	
	Heath Transfer		

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
<b>Electrophoretic Deposition (EPD)</b>	Electrophoresis		<p>Se vierte en un molde conductor de la electricidad una suspensión de materiales cerámicos en etanol, aplicando mediante electrodos corriente directa por el fenómeno de electroforesis las partículas migran de la suspensión hacia las paredes del molde depositándose sobre la superficie del mismo, formando una pared sólida.</p> <p>Una vez obtenido el espesor deseado el excedente de la suspensión se drena y se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.</p>
<b>Tape casting (TC)</b>	Plastic Carrier film	cellulose ethers	<p>Se vierte en una suspensión de materiales cerámicos con aditivos ligantes y plastificantes sobre la superficie de una banda flexible en movimiento controlando el espesor mediante una cuchilla, formando una capa sólida pero flexible.</p> <p>Una vez se seca se separa la banda de la película sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.</p>
	Doctor blade	acrylic polymers	
	Debinding	vinyl polymers	
		polyvinyl butyral (PVB) gelatin	

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
solid free form fabrication (SFF)	CAD/CAM	Stereolithography (SL)	<p>Partiendo de un diseño CAD y mediante un equipo controlado por computador, se conforma una pieza sólida de forma aditiva mediante capas apiladas de material cerámico, utilizando como técnicas la gelificación selectiva de una suspensión cerámica mediante un láser UV, la deposición directa de material cerámico por extrusión o chorro de tinta o la sinterización selectiva de capas de suspensión o polvo cerámico seco mediante laser. Posteriormente se eliminan los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.</p>
	Rapid prototyping	Direct Ink-Jet Printing (DIP)	
		stacking of greensheets	
		Three-Dimensional Printing	
		selective laser sintering/melting	
		fused deposition	
		hybrid deposition	
		Indirect AM fabrication	
		Layer-wise Slurry Deposition (LSD)	
		Powder based three-dimensional printing	
		Indirect rapid fabrication	
		extrusion free forming	

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
injection moulding (IM)	Metal mould	low pressure injection molding (LPIM)	Se inyecta a presión en un molde una dispersión de materiales cerámicos en un sistema de ligante termoplástico fundido, se enfría para solidificar el ligante y se abre el molde para extraer la pieza conformada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a un proceso de eliminación del ligante, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
	Debinding	Powder Injection-Molding (PIM)	
	Plasticizing	Aqueous Injection Moulding (AIM)	
	Powder mixing	Paraffin wax	
	Pelletization	bee wax	
	Heath Transfer	polyethylene wax	
		carnauba wax	
		polypropylene	
		low density polyethylene	
		ethylene vinyl acetate	
		polystyrene	
		polymethyl methacrylate	
		polyvinyl butyral	
	polyacetal		

TECNOLOGÍA	TECNOLOGÍA BASE	TIPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS
Extrusion (E)	Metal mould		Se inyecta a presión a través de una boquilla una pasta dúctil de materiales cerámicos, conformando una pieza lineal continua, que se corta a intervalos definidos para extraer las piezas individuales conformadas. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
isostatic pressing (IP)	Hydraulics	cold isostatic pressing (CIP)	Se vierte en un molde flexible una mezcla seca de materiales cerámicos, el molde flexible se sumerge en un baño de aceite en un pistón al que se le aplica alta presión uniforme en todos los sentidos, obligando a las partículas a unirse para conformar la pieza sólida. Se separan las partes del molde para extraer la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
	Flexible mould	hot isostatic pressing (CIP)	
	Spray Drying		
	Dry powder granulation		
Dry pressing (DP)	Hydraulics		Se vierte en un molde con dos de sus paredes móviles una mezcla seca de materiales cerámicos, se ejerce una alta presión en un sólo sentido mediante algún dispositivo mecánico o hidráulico, obligando a las partículas a unirse para conformar la pieza sólida. Se separan las partes del molde para expulsar la pieza sólida formada. De ser necesario se cortan y pulen los excedentes de pasta. La pieza conformada pasa a secado, esmaltado y quema para obtener el producto terminado.
	Metal mould		
	Spray Drying		
	Dry powder granulation		

**ANEXO 2 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS  
(INVERSIÓN)**

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Inversión</b>
<b>slip casting (SC)</b>	<p>Salones con bancos para ubicar los moldes y ejecutar el proceso de colaje de forma manual, los salones deben ser climatizados con aire caliente para ejecutar el ciclo de recuperación en el que se elimina la humedad de los moldes, para lograr incrementos de productividad pueden requerirse dispositivos mecánicos para mover los componentes de los moldes, servicios vacío y aire comprimido para recuperar el molde entre ciclos en el sistema "spagless". La tecnología necesaria es básica y en su grado mínimo no necesita transferencia de tecnología, para los procesos mejorados con mecanización está disponible en el mercado con una amplia base de proveedores reconocidos tanto en Europa como en china, con numerosas instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en el diseño de los moldes, la formulación de las suspensiones cerámicas y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>
<b>Pressure slip casting (PSC)</b>	<p>Se requieren máquinas de colaje de media y alta presión que estén diseñadas para soportar la presión hidrostática generada sobre las paredes del molde al ejecutar el proceso de colaje, que cuenten servicios vacío y aire comprimido para recuperar el molde entre ciclos. La tecnología necesaria es medianamente avanzada y requiere transferencia por parte del proveedor, está disponible en el mercado con una base de proveedores reconocidos, concentrados principalmente en Europa, con numerosas instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en la formulación de la resina sintética y proceso de fabricación y el diseño de los moldes, cuyo costo puede ser significativo, necesitando operar por un alto número de ciclos para amortizar el costo del molde a lo largo de un período considerable de tiempo. Otros requerimientos de conocimiento son la formulación de las suspensiones cerámicas y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Inversión</b>
centrifugal slip casting (CSC)	<p>Se requieren máquinas de colaje centrífugo que estén diseñadas para generar la velocidad de rotación necesaria y soportar la fuerza centrífuga generada sobre las paredes del molde. La tecnología necesaria es medianamente avanzada y se requiere transferencia por parte del proveedor, no se cuenta en el mercado con una base de proveedores reconocidos ni instalaciones que apliquen la tecnología a procesos de cerámica tradicional. El conocimiento requerido se centra en el diseño de los moldes. Otros requerimientos de conocimiento son la formulación de las suspensiones cerámicas y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>
gelcasting (GC)	<p>Salones con bancos para ubicar los moldes y ejecutar el proceso de colaje de forma manual, al no utilizar moldes porosos los salones no requieren condiciones especiales para la recuperación de los moldes, para lograr incrementos de productividad pueden requerirse dispositivos mecánicos para mover los componentes de los moldes. La tecnología necesaria es básica en lo referente a equipos pero avanzada en cuanto la formulación del sistema químico utilizado para la consolidación, requiriendo investigación básica o transferencia de tecnología desde el campo de la cerámica técnica, no está disponible en el mercado proveedores reconocidos ni instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en la formulación de los aditivos que generan la gelación de las suspensiones cerámicas y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>
temperature induced forming (TIF)	<p>Salones con bancos para ubicar los moldes y ejecutar el proceso de colaje de forma manual, por darse la consolidación en una reacción inducida por calor o enfriamiento los salones requieren condiciones acondicionar la temperatura de los moldes durante el ciclo de fabricación, para lograr</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Inversión</b>
	<p>incrementos de productividad pueden requerirse dispositivos mecánicos para mover los componentes de los moldes. La tecnología necesaria es básica en lo referente a equipos pero avanzada en cuanto la formulación del sistema químico utilizado para la consolidación, requiriendo investigación básica o transferencia de tecnología desde el campo de la cerámica técnica, no está disponible en el mercado proveedores reconocidos ni instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en la formulación de los aditivos que generan la gelación de las suspensiones cerámicas y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>
<b>In situ coagulation rotary moulding (ICRM)</b>	<p>Se requieren máquinas de rotomoldeo del tipo usado por la industria del plástico, diseñadas para rotar los moldes sobre dos ejes permitiendo depositar la pasta sobre las paredes de los moldes. Se tiene como opción implementar sistemas de calentamiento para acelerar el proceso de formación y el uso de moldes porosos para facilitar el desmoldeo de las piezas usando aire a presión, para lo que se requiere servicio de climatización y aire comprimido. La tecnología necesaria es medianamente avanzada y transferencia por parte del proveedor, está disponible en el mercado con una base de proveedores reconocidos para el sector del plástico, con numerosas instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la fabricación de elementos en polímeros plásticos, debe ser adaptada para la producción de cerámica tradicional. El conocimiento requerido se centra en la formulación del sistema de aditivos para la gelificación y en el diseño y fabricación de los moldes, cuyo costo puede ser significativo, necesitando operar por un alto número de ciclos para amortizar el costo del molde a lo largo de un período considerable de tiempo. Otros requerimientos de conocimiento son la formulación de las suspensiones cerámicas y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>
<b>Direct Coagulation Casting (DCC)</b>	<p>Salones con bancos para ubicar los moldes y ejecutar el proceso de colaje de forma manual, al no utilizar moldes porosos los salones no requieren condiciones especiales para la recuperación de los moldes, para lograr incrementos de productividad pueden requerirse dispositivos mecánicos para mover los componentes de los moldes. La tecnología necesaria es básica en lo referente a equipos pero avanzada en cuanto la formulación del sistema químico utilizado para la consolidación, requiriendo investigación básica o transferencia de tecnología desde el campo de la cerámica técnica, no está disponible en el mercado proveedores reconocidos ni instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en la formulación de los aditivos que generan la gelación de las suspensiones cerámicas y el</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Inversión</b>
	<b>desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</b>
<b>hydrolysis assisted solidification (HAS)</b>	<p>Salones con bancos para ubicar los moldes y ejecutar el proceso de colaje de forma manual, por darse la consolidación en una reacción inducida por calor los salones requieren condiciones acondicionar la temperatura de los moldes durante el ciclo de fabricación, para lograr incrementos de productividad pueden requerirse dispositivos mecánicos para mover los componentes de los moldes. La tecnología necesaria es básica en lo referente a equipos pero avanzada en cuanto la formulación del sistema químico utilizado para la consolidación, requiriendo investigación básica o transferencia de tecnología desde el campo de la cerámica técnica, no está disponible en el mercado proveedores reconocidos ni instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en la formulación de los aditivos que generan la gelación de las suspensiones cerámicas y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>
<b>Freeze Casting (FC)</b>	<p>Salones con bancos para ubicar los moldes y ejecutar el proceso de colaje de forma manual, por darse la consolidación por congelación los salones requieren condiciones para acondicionar la temperatura de los moldes durante el ciclo de fabricación, para lograr incrementos de productividad pueden requerirse dispositivos mecánicos para mover los componentes de los moldes. Se requiere adecuar la tecnología de cámaras de vacío necesarias para la evacuación del solvente por sublimación. En caso de usarse solventes diferentes al agua deberán contemplarse los dispositivos necesarios para su recuperación y reciclo. La tecnología necesaria es básica en lo referente a equipos, no está disponible en el mercado proveedores reconocidos ni instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento se concentra en el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Inversión</b>
Electrophoretic Deposition (EPD)	<p>Salones con bancos para ubicar los moldes y ejecutar el proceso de colaje de forma manual, no requieren ser climatizados por no usar moldes porosos que requieran recuperación, pero son de un material durable y disponer de electrodos para aplicar corriente directa y provocar la electrodeposición. Para lograr incrementos de productividad pueden requerirse dispositivos mecánicos para mover los componentes de los moldes. La tecnología necesaria es avanzada y requiere desarrollo o transferencia de tecnología, no está disponible una base de proveedores reconocidos ni instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en el diseño de los moldes, la aplicación del campo eléctrico, la formulación de las suspensiones cerámicas y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>
Tape casting (TC)	<p>Se requieren máquinas para tape casting diseñadas para ejecutar el proceso de colaje sobre la banda flexible. La tecnología necesaria es medianamente avanzada y requiere transferencia por parte del proveedor, está disponible en el mercado con una base de proveedores, con instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica técnica utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en la formulación de la suspensión cerámica, proceso de fabricación y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>
solid free form fabrication (SFF)	<p>Se requieren el software de diseño CAD/CAM y la estación de trabajo necesarios para la modelación 3D de los productos a fabricar. Una o más máquinas SFF, según la velocidad, diseñadas para ejecución de la manufactura aditiva según alguna de las tipologías tecnológicas. La tecnología necesaria es avanzada y requiere transferencia por parte del proveedor. Está disponible en el mercado con una base de proveedores orientados equipos de este tipo para la fabricación de prototipos diversos materiales incluyendo algunos tipos de cerámica, no se cuenta con instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a manufactura aditiva para el campo de la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnologías. El conocimiento requerido se centra en la formulación de los insumos cerámicos necesarios para efectuar el proceso de manufactura aditiva, proceso de diseño y fabricación digital.</p>
injection moulding (IM)	<p>Se requieren máquinas inyectoras, moldes de alto costo y servicios complementarios como agua de enfriamiento o aire comprimido. La</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<p style="text-align: center;"><b>Inversión</b></p> <p>tecnología necesaria es media a avanzada y requiere transferencia por parte del proveedor, está disponible en el mercado con una amplia base de proveedores para la industria plástica, con instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica técnica utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en la formulación de la pasta cerámica inyectable, el diseño de los moldes, el proceso de fabricación y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso para los pasos subsecuentes de pulido.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Extrusion (E)</b></p>	<p>Se requieren máquinas extrusoras. La tecnología necesaria es básica y requiere poca transferencia por parte del proveedor, está disponible en el mercado con una amplia base de proveedores, con instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en el diseño de las boquillas, la formulación de la pasta cerámica, los parámetros de operación de la máquina y el desarrollo de habilidades manuales en los operarios de proceso.</p>
<p style="text-align: center;"><b>isostatic pressing (IP)</b></p>	<p>Se requieren máquinas de prensado isostático en caliente o frío, consistentes en una cámara cilíndrica diseñada para soportar la presión hidrostática y generada sobre las paredes de la cámara, el sistema de calentamiento en el caso del prensado en caliente, una estructura o marco rígido que mantenga cerrada la cámara durante la operación, un circuito de presurización hidráulica con bombas y válvulas y los servicios para manipular la carga y descarga de la cámara mediante una canasta con la que se introduce en la cámara los moldes de material flexible llenos del polvo a prensar. La tecnología necesaria es avanzada y requiere transferencia por parte del proveedor, está disponible en el mercado con una base de proveedores reconocidos, concentrados principalmente en Suecia y Japón, con numerosas instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica técnica y la metalurgia utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en la formulación del polvo a prensar, el proceso de fabricación y el diseño de los moldes flexibles.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Inversión</b>
<b>Dry pressing (DP)</b>	<p>Se requieren prensas, generalmente con un circuito de presurización hidráulica con bombas y válvulas que mediante un pistón, o mediante un sistema de ram de volante y tornillo, que ejercen presión uniaxial sobre las cavidades de un molde metálico lleno del polvo seco y que expulsa la pieza conformada una vez terminado el ciclo. Los últimos desarrollos tecnológicos para el prensado de grandes formatos han reemplazado la prensa hidráulica por sistemas de cilindros que comprimen el polvo seco entre bandas para lograr la compactación. Debe contar con los servicios para manipular las piezas prensadas y el llenado de la cavidad con el polvo a prensar. La tecnología necesaria es medianamente avanzada y requiere transferencia por parte del proveedor, está disponible en el mercado con una base de proveedores reconocidos, concentrados principalmente en Europa, con numerosas instalaciones en fábricas en el mundo dedicadas a la cerámica tradicional utilizando este tipo de tecnología. El conocimiento requerido se centra en la formulación del polvo a prensar, el proceso de fabricación y el diseño de los moldes.</p>

**ANEXO 3 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS  
(COSTOS OPERATIVOS)**

PROCESO	REQUERIMIENTOS
slip casting (SC)	<p align="center"><b>Costos Operativos</b></p> <p>Se concentran en Materias Primas Cerámicas, Mano de Obra y el yeso necesario para la fabricación de los moldes. La productividad en los procesos manuales tiende a ser baja, como resultado de los tiempos de formación de la pasta en los moldes, obligando al uso de múltiples moldes para un mismo operario lo que impacta la productividad por los desplazamientos y movimientos adicionales del personal. Se busca incrementar la productividad con el uso de ayudas mecánicas, vacío y aire comprimido, generando costos adicionales por Energía y Mantenimiento. El calor requerida para la recuperación de moldes y el secado de piezas en gran medida resulta del aprovechamiento del calor residual de los procesos de cocción, pero pueden generarse consumos adicionales de energéticos si se requiere complementar con el uso de calderas.</p>
Pressure slip casting (PSC)	<p>Se concentran en Materias Primas Cerámicas, Mano de Obra y la amortización de los moldes de resina que tienen un alto costo. La productividad se incrementa al reducir el tiempo de ciclo de formación y reducir el tiempo de recuperación de moldes incorporándolo dentro cada ciclo de fabricación, el uso de menos moldes para un mismo operario mejora la productividad al reducir los desplazamientos y movimientos del personal. La operación mecánica del equipo, el vacío y el aire comprimido, genera costos por energía y mantenimiento. No se requiere climatización de salones ni calor para la recuperación de moldes. El secado de piezas es análogo al proceso de colaje tradicional, usando en gran medida el aprovechamiento del calor residual de los procesos de cocción, pero pueden generarse consumos adicionales de energéticos si se requiere complementar con el uso de calderas. Los moldes de resina requieren un proceso de mantenimiento y lavado periódico con el consumo de insumos especiales para esto.</p>
centrifugal slip casting (CSC)	<p>Se concentran en Materias Primas Cerámicas, Mano de Obra y los materiales utilizados para fabricación de moldes que pueden ser de yeso. Por la reducción de tiempos de formación la productividad mejora frente a la de los procesos manuales para piezas de tamaño similar, sin embargo se continúa con el uso de múltiples moldes para un mismo operario lo que impacta la productividad por desplazamientos y movimientos adicionales del personal. El calor requerida para la recuperación de moldes y el secado de piezas en gran medida resulta del aprovechamiento del calor residual de los procesos de cocción, pero pueden generarse consumos adicionales de energéticos si se requiere complementar</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Costos Operativos</b>
	<b>con el uso de calderas.</b>
<b>gelcasting (GC)</b>	<p>Se concentran en el sistema de aditivos químicos ligantes necesarios para generar la consolidación, las materias primas cerámicas, mano de obra y la amortización del costo de los moldes. La productividad varía según el tiempo de reacción necesario para que se dé la consolidación del material, dependiendo de esto podría ser necesario el uso de múltiples moldes para un mismo operario lo que genera desplazamientos y movimientos adicionales del personal. En algunos sistemas se requiere calor para acelerar la tasa de reacción de gelificación en los moldes. Para el secado de piezas además de los métodos tradicionales pueden ser utilizados desecantes líquidos o el secado en frío, que implica costos de refrigeración y vacío. El calor necesario para estos procesos en gran medida resulta del aprovechamiento del calor residual de los procesos de cocción, pero pueden generarse consumos adicionales de energéticos si se requiere complementar con el uso de calderas. Antes de la cocción pueden requerirse pasos adicionales para la eliminación de los componentes orgánicos necesarios para la consolidación, lo que puede generar incrementos moderados de los tiempos de ciclo y consumos de energía según la proporción de aditivo introducido, que son significativamente menores que los utilizados en el moldeo por inyección donde el sistema orgánico ligante es a su vez plastificante y vehículo durante la formación de la pieza.</p>
<b>temperature induced forming (TIF)</b>	<p>Se concentran en el sistema de aditivos químicos ligantes necesarios para generar la consolidación, las materias primas cerámicas, mano de obra y la amortización del costo de los moldes. La productividad varía según el tiempo de reacción necesario para que se dé la consolidación del material, dependiendo de esto podría ser necesario el uso de múltiples moldes para un mismo operario lo que genera desplazamientos y movimientos adicionales del personal. En estos sistemas se requiere calor o enfriamiento para provocar la reacción de gelificación en los moldes. Para el secado de piezas además de los métodos tradicionales pueden ser utilizados desecantes líquidos o el secado en frío, que implica costos de refrigeración y vacío. El calor necesario para estos procesos en gran medida resulta del aprovechamiento del calor residual de los procesos de cocción, pero pueden generarse consumos adicionales de energéticos si se requiere complementar con el uso de calderas. Antes de la cocción pueden requerirse pasos adicionales para la eliminación de los componentes orgánicos necesarios para la consolidación, lo que puede generar incrementos moderados de los tiempos de ciclo y consumos de energía según la proporción de aditivo introducido, que son significativamente menores que los utilizados en el moldeo por inyección donde el sistema orgánico ligante es a su vez plastificante y vehículo durante la formación de la pieza.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
<p data-bbox="235 619 381 787"><b>In situ coagulation rotary moulding (ICRM)</b></p>	<p data-bbox="779 283 998 315" style="text-align: center;"><b>Costos Operativos</b></p> <p data-bbox="406 367 1372 1039">Se concentran en el sistema de aditivos químicos ligantes necesarios para generar la consolidación, las materias primas cerámicas, mano de obra y la amortización del costo de los moldes. La operación mecánica del equipo y el aire comprimido, genera costos por energía y mantenimiento. La productividad varía según los tiempo de reacción necesario para que se dé la consolidación del material, dependiendo de esto podría ser necesario el uso de múltiples moldes para un mismo operario lo que genera impacto en la productividad por desplazamientos y movimientos adicionales. En estos sistemas se puede requerir aplicar calor para controlar la velocidad de la reacción de gelificación en los moldes. El calor necesario para el secado en gran medida resulta del aprovechamiento del calor residual de los procesos de cocción, pero pueden generarse consumos adicionales de energéticos si se requiere complementar con el uso de calderas. Antes de la cocción pueden requerirse pasos adicionales para la eliminación de los componentes orgánicos necesarios para la consolidación, lo que puede generar incrementos moderados de los tiempos de ciclo y consumos de energía según la proporción de aditivo introducido, que son significativamente menores que los utilizados en el moldeo por inyección donde el sistema orgánico ligante es a su vez plastificante y vehículo durante la formación de la pieza.</p>
<p data-bbox="235 1354 381 1501"><b>Direct Coagulation Casting (DCC)</b></p>	<p data-bbox="406 1123 1372 1732">Se concentran en el sistema de aditivos químicos ligantes necesarios para generar la consolidación, las materias primas cerámicas, mano de obra y la amortización del costo de los moldes. La productividad varía según los tiempo de reacción necesario para que se dé la consolidación del material, dependiendo de esto podría ser necesario el uso de múltiples moldes para un mismo operario lo que genera desplazamientos y movimientos adicionales del personal. En algunos sistemas se requiere calor para acelerar la rata de reacción de gelificación en los moldes. Para el secado de piezas además de los métodos tradicionales pueden ser utilizados desecantes líquidos o el secado en frío, que implica costos de refrigeración y vacío. El calor necesario para estos procesos en gran medida resulta del aprovechamiento del calor residual de los procesos de cocción, pero pueden generarse consumos adicionales de energéticos si se requiere complementar con el uso de calderas. Antes de la cocción pueden requerirse pasos adicionales para la eliminación de los componentes orgánicos necesarios para la consolidación, lo que puede generar incrementos moderados de los tiempos de ciclo y consumos de energía según la proporción de aditivo introducido.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Costos Operativos</b>
<b>hydrolysis assisted solidification (HAS)</b>	<p>Se concentran en el sistema de aditivos químicos ligantes (AIN) necesarios para generar la consolidación, las materias primas cerámicas, mano de obra y la amortización del costo de los moldes. La productividad varía según el tiempo de reacción necesario para que se dé la consolidación del material, dependiendo de esto podría ser necesario el uso de múltiples moldes para un mismo operario lo que genera desplazamientos y movimientos adicionales del personal. En estos sistemas se requiere calor para provocar la reacción de gelificación en los moldes. Para el secado de piezas además de los métodos tradicionales pueden ser utilizados desecantes líquidos o el secado en frío, que implica costos de refrigeración y vacío. El calor necesario para estos procesos en gran medida resulta del aprovechamiento del calor residual de los procesos de cocción, pero pueden generarse consumos adicionales de energéticos si se requiere complementar con el uso de calderas. Antes de la cocción pueden requerirse pasos adicionales para la eliminación de los componentes orgánicos necesarios para la consolidación, lo que puede generar incrementos moderados de los tiempos de ciclo y consumos de energía según la proporción de aditivo introducido.</p>
<b>Freeze Casting (FC)</b>	<p>Se concentran en la energía consumida para generar la refrigeración durante la consolidación y el vacío durante el secado, las materias primas cerámicas, mano de obra y la amortización del costo de los moldes. La productividad varía según el tiempo de congelación necesario para que se dé la consolidación del material, dependiendo de esto podría ser necesario el uso de múltiples moldes para un mismo operario lo que genera desplazamientos y movimientos adicionales del personal. En la cocción no se requieren pasos adicionales para la eliminación de componentes orgánicos, ya que de usarse deben ser extraídos y recuperados durante el secado, por lo que no se deben generar incrementos en los tiempos de ciclo y consumos de energía frente a los procesos tradicionales.</p>
<b>Electrophoretic Deposition (EPD)</b>	<p>Se concentran en la energía consumida para generar la electrodeposición durante la consolidación, las materias primas cerámicas y el solvente, mano de obra y la amortización del costo de los moldes. La productividad varía según el tiempo necesario para que se dé la electrodeposición del material, que aunque podría ser inferior al del colaje tradicional, aún podría ser necesario el uso de múltiples moldes para un mismo operario lo que genera desplazamientos y movimientos adicionales del personal. En la cocción no se requieren pasos adicionales para la eliminación de componentes orgánicos, ya que de usarse deben ser extraídos y recuperados durante el secado, por lo que no se deben generar incrementos en los tiempos de ciclo y consumos de energía frente a los procesos tradicionales.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Costos Operativos</b>
<b>Tape casting (TC)</b>	<p>Se concentran en el sistema de aditivos químicos ligantes necesarios para generar la consolidación, las materias primas cerámicas, la energía para operar el equipo, costos de mantenimiento y la mano de obra necesaria para su atención. La productividad varía según los tiempo de reacción y secado necesarios para que se dé la consolidación del material, por la limitación del proceso al fabricar cintas continuas de material son necesarios procesos adicionales de troquelado y maquinado para obtener las piezas en la forma final requerida. Antes de la cocción pueden requerirse pasos adicionales para la eliminación de los componentes orgánicos necesarios para la consolidación, lo que puede generar incrementos moderados de los tiempos de ciclo y consumos de energía según la proporción de aditivo introducido, el sistema orgánico tiene funciones de ligante es a su vez plastificante y vehículo durante la formación de la pieza.</p>
<b>solid free form fabrication (SFF)</b>	<p>Se concentran en el sistema de aditivos químicos ligantes necesarios para generar la consolidación, materiales de soporte, las materias primas cerámicas, la energía requerida para la operación del equipo, costos de mantenimiento y la mano de obra necesaria para su atención. Se elimina el costo de fabricación de moldes físicos ya que estos son reemplazados por el diseño digital. Por la naturaleza aditiva del proceso la productividad varía según el tiempo de consolidación de cada segmento del material elaborado. Antes de la cocción pueden requerirse pasos adicionales para la eliminación de los componentes orgánicos necesarios para la consolidación, lo que puede generar incrementos moderados de los tiempos de ciclo y consumos de energía según la proporción de aditivo introducido.</p>
<b>injection moulding (IM)</b>	<p>Se concentran en el sistema de aditivos químicos ligantes y plastificantes necesarios para generar la fluidez de la pasta para permitir su inyección y posterior consolidación dentro del molde, las materias primas cerámicas, la energía necesaria para el calentar la pasta y operar el equipo, costos de mantenimiento y la mano de obra necesaria para su atención. El costo de la amortización de los moldes de inyección es significativa por el alto valor de los mismos. La productividad tiende a ser alta por los tiempo de ciclo cortos de inyección y enfriamiento de las piezas, pueden ser necesarios procesos adicionales de pulida y maquinado para eliminar rebabas y residuos de canales de inyección para obtener las piezas en la forma final requerida. Antes de la cocción se requieren pasos adicionales para la eliminación de los componentes orgánicos ligantes y plastificantes, lo que genera incrementos significativos de los tiempos de ciclo y consumos de energía por la alta proporción de aditivo introducido.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Costos Operativos</b>
<b>Extrusion (E)</b>	<p>Se concentran en Materias Primas Cerámicas, Mano de Obra centrada en la manipulación y transporte de las piezas, la energía necesaria para la operación del equipo y los costos de mantenimiento y reposición de boquillas y otras piezas de desgaste. La productividad tiende a ser alta para la fabricación de un alto número de piezas repetitivas. El calor requerida para el secado de piezas en gran medida resulta del aprovechamiento del calor residual de los procesos de cocción, pero pueden generarse consumos adicionales de energéticos si se requiere complementar con el uso de calderas.</p>
<b>isostatic pressing (IP)</b>	<p>Se concentran en Materias Primas Cerámicas, la energía necesaria para la presurización de la cámara, la amortización de los moldes flexibles y la mano de obra para el proceso de llenado y extracción de las piezas de los moldes. La operación mecánica del equipo y el circuito hidráulico genera costos de mantenimiento. No se requiere climatización de salones ni calor para la recuperación de moldes. El secado de piezas es reducido al partir de polvos secos y puede requerir calor recuperado de procesos de cocción o de fuentes independientes.</p>
<b>Dry pressing (DP)</b>	<p>Se concentran en Materias Primas Cerámicas, la energía necesaria para la presurización de la cámara, la amortización de los moldes y la mano de obra para el proceso que se reduce en la medida en que el mismo tenga un mayor grado de automatización para la manipulación de las piezas prensadas. La operación mecánica del equipo y el circuito hidráulico genera costos de mantenimiento. No se requiere climatización de salones ni calor para la recuperación de moldes. El secado de piezas es reducido al partir de polvos secos y puede requerir calor recuperado de procesos de cocción o de fuentes independientes.</p>

**ANEXO 4 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS  
(PROCESOS COMPLEMENTARIOS)**

PROCESO	REQUERIMIENTOS
slip casting (SC)	<p align="center"><b>Procesos complementarios</b></p> <p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican las matrices requeridas para fabricar los moldes de yeso. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado de las piezas conformadas, al tener una incidencia crítica en la generación de defectos puede requerir tiempos largos de secado a temperatura ambiente requiriendo grandes áreas de almacenamiento.</p>
Pressure slip casting (PSC)	<p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican los moldes en resina, o contratar los servicios de fabricación con proveedores externos. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado de las piezas conformadas, al tener una incidencia crítica en la generación de defectos puede requerir tiempos largos de secado a temperatura ambiente requiriendo grandes áreas de almacenamiento.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Procesos complementarios</b>
centrifugal slip casting (CSC)	<p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican las matrices requeridas para fabricar los moldes de yeso. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado de las piezas conformadas, al tener una incidencia crítica en la generación de defectos puede requerir tiempos largos de secado a temperatura ambiente requiriendo grandes áreas de almacenamiento.</p>
gelcasting (GC)	<p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. Pueden ser necesaria refrigeración para evitar el inicio de la reacción de gelificación, o en su defecto la dosificación y mezcla del aditivo o catalizador justo en el momento del llenado de los moldes. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican las matrices o directamente los moldes que pueden ser en metal o materiales plásticos no porosos. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado de las piezas conformadas, al tener una incidencia crítica en la generación de defectos puede requerir implementar el uso de desecantes líquidos o el secado en frío, o la aplicación de tiempos largos de secado a temperatura ambiente requiriendo grandes áreas de almacenamiento.</p>
temperature	El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Procesos complementarios</b>
<p style="text-align: center;"><b>induced forming (TIF)</b></p>	<p>procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. Es necesario controlar la temperatura mediante refrigeración o calentamiento para evitar el inicio de la reacción de gelificación. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican las matrices o directamente los moldes que pueden ser en metal o materiales plásticos no porosos. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado de las piezas conformadas, al tener una incidencia crítica en la generación de defectos puede requerir implementar el uso de desecantes líquidos o el secado en frío, o la aplicación de tiempos largos de secado a temperatura ambiente requiriendo grandes áreas de almacenamiento, las cuales pueden requerir condiciones de climatización especiales para mantener las piezas en estado gelificado.</p>
<p style="text-align: center;"><b>In situ coagulation rotary moulding (ICRM)</b></p>	<p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. Pueden ser necesaria refrigeración para evitar el inicio de la reacción de gelificación, o en su defecto la dosificación y mezcla del aditivo o catalizador justo en el momento del llenado de los moldes. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican las matrices o directamente los moldes que pueden ser en metal o materiales plásticos no porosos o porosos en caso de que se implemente el uso de aire comprimido para el desmoldeo. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado de las piezas conformadas se ajusta a los procesos estándar aplicados en la cerámica tradicional.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Direct Coagulation Casting (DCC)</b></p>	<p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. Pueden ser necesaria refrigeración para evitar el inicio de la reacción de gelificación, o en su defecto la dosificación y mezcla del aditivo o catalizador justo en el momento del llenado de los moldes. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican las matrices o directamente los moldes que pueden ser en metal o materiales plásticos no porosos. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Procesos complementarios</b>
	<p>requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado de las piezas conformadas se ajusta a los procesos estándar aplicados en la cerámica tradicional.</p>
<b>hydrolysis assisted solidification (HAS)</b>	<p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. Es necesario controlar la temperatura mediante refrigeración para evitar el inicio de la reacción de gelificación. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican las matrices o directamente los moldes que pueden ser en metal o materiales plásticos no porosos. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado de las piezas conformadas se ajusta a los procesos estándar aplicados en la cerámica tradicional.</p>
<b>Freeze Casting (FC)</b>	<p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican los moldes. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado en frío con aplicación de vacío de las piezas conformadas, tiene una incidencia crítica en la generación de defectos y puede requerir tiempos largos de secado a bajas temperaturas y presiones requiriendo grandes áreas de almacenamiento.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Procesos complementarios</b>
Electrophoretic Deposition (EPD)	<p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida, con características diferentes a las tradicionales por el uso de solventes no acuosos. Para la fabricación de los moldes se debe implementar un área de diseño y modelería donde se fabrican los moldes, con consideraciones especiales para el diseño de los sistemas de electrodos para aplicación de corriente. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra, sin embargo la tendencia es a combinar estas con el proceso mismo de formación inmediatamente sale la pieza del molde. El proceso de secado de las piezas conformadas, tiene una incidencia crítica en la generación de defectos y puede requerir tiempos largos de secado requiriendo grandes áreas de almacenamiento. Se deben incorporar procesos de recuperación y reciclaje de solventes.</p>
Tape casting (TC)	<p>El acondicionamiento de la suspensión de materiales cerámicos requiere procesos de dispersión y molienda, tanques de almacenamiento y circuitos de bombeo para transporte de la suspensión líquida. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido que son intensivas en mano de obra.</p>
solid free form fabrication (SFF)	<p>Se requieren procesos de preparación para el acondicionamiento de los insumos cerámicos, sea en suspensión, polvo seco o filamento extruible. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de limpieza y pulido para eliminar el material excedente o de soporte, que son intensivas en mano de obra. El proceso de secado de las piezas conformadas, al tener una incidencia crítica en la generación de defectos puede requerir la aplicación de tiempos largos de secado a temperatura ambiente requiriendo grandes áreas de almacenamiento.</p>
injection moulding (IM)	<p>Se requieren procesos de preparación para el acondicionamiento de los insumos cerámicos como polvo seco o pellet. El proceso de acabado de las piezas terminadas requiere de etapas adicionales de pulido y maquinado para eliminar el material excedente en rebabas y canales de inyección, que son intensivas en mano de obra. El proceso de secado de las piezas</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Procesos complementarios</b>
	<p>conformadas, al tener una incidencia crítica en la generación de defectos puede requerir la aplicación de tiempos largos de secado a temperatura ambiente requiriendo grandes áreas de almacenamiento. La etapa de eliminación de ligantes antes de la cocción es crítica y requiere curvas especiales de calentamiento para eliminar los compuestos orgánicos si generar defectos.</p>
<b>Extrusion (E)</b>	<p>Dependiendo de la tipología de producto a obtener pueden requerirse procesos de preparación por dispersión y filtro prensado para formular los insumos cerámicos de la pasta en lugar de su alimentación directa a la extrusora. Si las pieza terminada conservan la característica de ser cortes de segmentos de la forma lineal que sale por la boquilla el proceso de acabado sólo requiere etapas mínimas de pulido para eliminar rebabas generadas por el corte, los cuales deben ejecutarse durante el mismo, sin embargo, para la obtención de formas tridimensionales a partir de la deformación o corte de los segmentos, pueden ser necesarios procesos de prensado o torneado, los cuales son intensivos en mano de obra. El proceso de secado de las piezas conformadas, al tener una incidencia crítica en la generación de defectos puede requerir la aplicación de tiempos largos de secado a temperatura ambiente requiriendo grandes áreas de almacenamiento.</p>
<b>isostatic pressing (IP)</b>	<p>Se requieren procesos de preparación para el acondicionamiento de los insumos cerámicos como polvo seco. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido y maquinado para eliminar el material excedente que son intensivas en mano de obra. El proceso de secado de las piezas conformadas al partir de polvo seco debería ser mínimo. La utilización de aditivos ligantes debería ser mínima por lo que no se requieren procesos adicionales antes de la cocción.</p>
<b>Dry pressing (DP)</b>	<p>Se requieren procesos de preparación para el acondicionamiento de los insumos cerámicos como polvo seco. El proceso de acabado de las piezas terminadas puede requerir de etapas adicionales de pulido eliminar rebabas normalmente integradas en forma automática dentro del ciclo de prensado. El proceso de secado de las piezas conformadas al partir de polvo seco es mínimo pero en general se requiere como acondicionamiento para el proceso de esmaltado posterior que normalmente se realiza en líneas</p>

<b>PROCESO</b>	<b>REQUERIMIENTOS</b>
	<b>Procesos complementarios</b>
	<b>integradas. La utilización de aditivos ligantes debería ser mínima por lo que no se requieren procesos adicionales antes de la cocción.</b>

**ANEXO 5 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS  
(IMPACTO AMBIENTAL)**

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Impacto Ambiental</b>
slip casting (SC)	<p>Se generan como desecho sólidos la escayola de los moldes que cumplen su ciclo de operación, la cual puede representar un impacto por su disposición en escombreras si no se cuenta con la posibilidad de reciclar el material en la elaboración de otros productos de consumo como estucos y materiales de construcción similares. Todos los demás excedentes sólidos o líquidos del proceso deberán ser reciclados dentro del mismo ciclo de fabricación. El proceso no genera desechos considerados como peligrosos. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción común a todas las tecnologías, relativa al kilo de pieza formada no debería ser significativamente mayor a la de otros procesos de formación.</p>
Pressure slip casting (PSC)	<p>Por la alta duración de los moldes de resina no se generan como desecho sólidos en relación a estos. Todos los demás excedentes sólidos o líquidos del proceso deberán ser reciclados dentro del mismo ciclo de fabricación. El proceso del mantenimiento y lavado de los moldes con ácidos genera desechos considerados como peligrosos. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción común a todas las tecnologías, relativa al kilo de pieza formada no debería ser significativamente mayor a la de otros procesos de formación.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Impacto Ambiental</b>
centrifugal slip casting (CSC)	<p>Se generan como desecho sólidos la escayola de los moldes que cumplen su ciclo de operación, la cual puede representar un impacto por su disposición en escombreras si no se cuenta con la posibilidad de reciclar el material en la elaboración de otros productos de consumo como estucos y materiales de construcción similares. Todos los demás excedentes sólidos o líquidos del proceso deberán ser reciclados dentro del mismo ciclo de fabricación. El proceso no genera desechos considerados como peligrosos. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción común a todas las tecnologías, relativa al kilo de pieza formada no debería ser significativamente mayor a la de otros procesos de formación.</p>
gelcasting (GC)	<p>Por el uso de moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso no son reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación porque el sistema gelificante sufre una reacción irreversible, estos desechos pueden ser considerados como materiales peligrosos debido a la naturaleza tóxica de algunos de los sistemas utilizados. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción comunes a todas las tecnologías, incluyendo la eliminación de los componentes orgánicos del sistema ligante, por esto relativo al kilo de pieza formada puede incrementarse moderadamente frente otros procesos de formación. Otros aportes adicionales a la huella de carbono pueden resultar de la necesidad de recuperar desecantes líquidos y procesos de refrigeración y vacío para el secado en frío.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
<p>temperature induced forming (TIF)</p>	<p><b>Impacto Ambiental</b></p> <p>Por el uso de moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso pueden no ser reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación si el sistema gelificante sufre una reacción irreversible, estos desechos pueden ser considerados como materiales peligrosos debido a la naturaleza tóxica de algunos de los sistemas utilizados, aunque en menor medida que en los procesos tradicionales de gel casting. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos térmicos relacionados con la etapa de gelificación en moldes, en el secado que puede tener requerimientos especiales de climatización y en la cocción, incluyendo la eliminación de los componentes orgánicos del sistema ligante, por esto relativo al kilo de pieza formada puede incrementarse frente otros procesos de formación. Otros aportes adicionales a la huella de carbono pueden resultar de la necesidad de recuperar desecantes líquidos y procesos de refrigeración y vacío para el secado en frío.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Impacto Ambiental</b>
<b>In situ coagulation rotary moulding (ICRM)</b>	<p>Por el uso de moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso pueden no ser reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación si el sistema gelificante sufre una reacción irreversible, estos desechos pueden ser considerados como materiales peligrosos debido a la naturaleza tóxica de algunos de los sistemas utilizados. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción comunes a todas las tecnologías, incluyendo la eliminación de los componentes orgánicos del sistema ligante, por esto relativo al kilo de pieza formada puede incrementarse moderadamente frente otros procesos de formación.</p>
<b>Direct Coagulation Casting (DCC)</b>	<p>Por el uso de moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso pueden no ser reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación si el sistema gelificante sufre una reacción irreversible, estos desechos pueden ser considerados como materiales peligrosos debido a la naturaleza tóxica de algunos de los sistemas utilizados. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción comunes a todas las tecnologías, incluyendo la eliminación de los componentes orgánicos del sistema ligante, por esto relativo al kilo de pieza formada puede incrementarse moderadamente frente otros procesos de formación. Otros aportes adicionales a la huella de carbono pueden resultar de la necesidad de recuperar desecantes líquidos y procesos de refrigeración y vacío para el secado en frío.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
<b>Impacto Ambiental</b>	
<b>hydrolysis assisted solidification (HAS)</b>	<p>Por el uso de moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso no son reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación porque el sistema gelificante sufre una reacción irreversible, estos desechos pueden ser considerados como materiales peligrosos debido al contenido de amoníaco generado por los sistemas utilizados. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos térmicos relacionados con la etapa de gelificación en moldes, en el secado y en la cocción comunes a todas las tecnologías, no requiere la eliminación de los componentes orgánicos del sistema ligante, por esto relativo al kilo de pieza formada no cambia frente otros procesos de formación.</p>
<b>Freeze Casting (FC)</b>	<p>Por el uso de moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso son reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación debido a que el proceso de congelación es reversible. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. Dado el uso de otros solventes diferentes al agua estos deben ser recuperados durante el proceso de secado por sublimación y reciclarse. La huella de carbono se concentra en generación en frío para congelación en moldes, el secado en frío con vacío y en la cocción, por esto relativo al kilo de pieza formada puede incrementarse frente otros procesos de formación.</p>
<b>Electrophoretic Deposition (EPD)</b>	<p>Por el uso de moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso son reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación debido a que el proceso de electrodeposición no genera cambios irreversibles en los materiales. La huella hídrica puede mitigarse al no partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. Dado el uso de otros solventes diferentes al agua estos deben ser recuperados durante el proceso de secado y reciclarse. La huella de carbono se concentra en la electrodeposición en el molde, el secado y en la cocción, por esto relativo al kilo de pieza formada puede incrementarse frente otros procesos de formación.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
<p data-bbox="256 531 412 594">Tape casting (TC)</p>	<p data-bbox="808 281 1044 312">Impacto Ambiental</p>
	<p data-bbox="456 369 1398 753">Por no usar moldes no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso podrían no son reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación si el sistema gelificante sufre una reacción irreversible, estos desechos pueden ser considerados como materiales peligrosos debido a la naturaleza tóxica de algunos de los sistemas utilizados. La huella hídrica puede considerarse como significativa por partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción comunes a todas las tecnologías, incluyendo la eliminación de los componentes orgánicos del sistema ligante, por esto relativo al kilo de pieza formada puede incrementarse moderadamente frente otros procesos de formación.</p>
	<p data-bbox="235 1035 435 1098">solid free form fabrication (SFF)</p> <p data-bbox="456 842 1398 1297">Por no usar moldes no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso deben ser reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación, los materiales de soporte podrían no ser reciclables si el proceso de consolidación es irreversible, estos desechos pueden ser considerados como materiales peligrosos debido a la naturaleza tóxica de algunos de los sistemas utilizados. La huella hídrica podría ser o no considerarse como significativa dependiendo de si el sistema parte de una suspensión de materiales cerámicos en agua. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción comunes a todas las tecnologías, incluyendo la eliminación de los componentes orgánicos del sistema ligante, por esto relativo al kilo de pieza formada puede incrementarse moderadamente frente otros procesos de formación. También se debe considerar la energía correspondiente a la operación del equipo.</p>
<p data-bbox="248 1564 422 1627">injection moulding (IM)</p>	<p data-bbox="456 1386 1398 1808">Por usar moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos generados por el proceso de eliminación de rebabas y maquinado y las purgas de arranque de la máquina deben ser reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación. La huella hídrica no debería ser considerarse como significativa, el consumo de agua para enfriamiento de los moldes debe ejecutarse en ciclo cerrado usando torres de enfriamiento. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción comunes a todas las tecnologías, incluyendo la eliminación de los componentes orgánicos del sistema ligante, por esto relativo al kilo de pieza formada puede incrementarse significativamente frente otros procesos de formación. También se debe considerar la energía correspondiente a la operación del equipo y el calentamiento de la pasta para la inyección.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	Impacto Ambiental
Extrusion (E)	<p>Por usar moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos o líquidos del proceso pueden ser reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación. La huella hídrica puede considerarse como significativa cuando se requiere partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua para formular y homogeneizar las materias primas. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción común a todas las tecnologías, por esto relativa al kilo de pieza formada puede ser equivalente a la de otros procesos de formación.</p>
isostatic pressing (IP)	<p>Por usar moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos del proceso pueden ser reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación. La huella hídrica puede considerarse como significativa cuando se requiere partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua para formular y homogeneizar las materias primas. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción común a todas las tecnologías, por esto relativa al kilo de pieza formada puede ser equivalente a la de otros procesos de formación. El consumo de energía para la presurización de la cámara de prensado requiere un consumo de energía significativo, la cual por la magnitud de la misma probablemente no puede ser transferida entre ciclos para obtener ahorros energéticos.</p>
Dry pressing (DP)	<p>Por usar moldes durables no se generan desecho sólidos por la disposición de estos. Los excedentes sólidos del proceso pueden ser reciclables dentro del mismo ciclo de fabricación. La huella hídrica puede considerarse como significativa cuando se requiere partir de una suspensión de materiales cerámicos en agua para formular y homogeneizar las materias primas. La huella de carbono se concentra en los procesos de secado y cocción común a todas las tecnologías, por esto relativa al kilo de pieza formada puede ser equivalente a la de otros procesos de formación. El consumo de energía para el prensado requiere un consumo de energía significativo que no puede transferido entre ciclos.</p>

**ANEXO 6 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS  
(SALUD Y SEGURIDAD)**

<b>PROCESO</b>	<b>REQUERIMIENTOS</b>
slip casting (SC)	<p align="center"><b>Salud y Seguridad</b></p> <p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos. Los materiales utilizados no presentan riesgos de toxicidad. El uso eventual de feldespatos para el acondicionamiento de moldes puede generar riesgos de enfermedad respiratoria si no se implementa el uso de elementos de protección personal.</p>
Pressure slip casting (PSC)	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. El manejo de fluidos presurizados exige la implementación de medidas de seguridad necesarias para reducir riesgos de explosión por sobre presión y contener fragmentos del molde en caso de una explosión. Los materiales utilizados en la operación no presenta riesgos de toxicidad, para el mantenimiento y lavado de los moldes de resina se utilizan ácidos corrosivos que requieren medidas de protección personal especiales.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Salud y Seguridad</b>
centrifugal slip casting (CSC)	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas, sin embargo por la dificultad inherente de poner a rotar volúmenes grandes a alta velocidad el tamaño de las piezas susceptibles a fabricar por este método es limitado. Deberán implementarse todas las medidas de seguridad asociadas a equipos rotativos e instalar las guardas necesarias para evitar atrapamientos y contener fragmentos volantes en caso de una falla catastrófica del equipo. Los materiales utilizados en la operación no presentan riesgos de toxicidad.</p>
gelcasting (GC)	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. El manejo de sistemas de gelificación tóxicos debería evitarse al máximo, en caso de que se mantenga en algún grado deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso.</p>
temperature induced forming (TIF)	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. El manejo de sistemas de gelificación tóxicos debería evitarse al máximo, los sistemas utilizados en esta tecnología parecen ser de baja toxicidad, caso de que se mantenga en algún grado deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Salud y Seguridad</b>
	<p>riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso. Deben implementarse las normas de seguridad necesarias en el manejo de sistemas de calentamiento o enfriamiento utilizados para transferir calor a los moldes.</p>
<b>In situ coagulation rotary moulding (ICRM)</b>	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. Los equipos de roto moldeo implican los riesgos de golpe y atrapamiento comunes a cualquier equipo con partes móviles, por lo que deberán implementarse las medidas de protección necesarias para mitigarlos. El manejo de sistemas de gelificación tóxicos debería evitarse al máximo, en caso de que se mantenga en algún grado deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso.</p>
<b>Direct Coagulation Casting (DCC)</b>	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. El manejo de sistemas de gelificación tóxicos debería evitarse al máximo, en caso de que se mantenga en algún grado deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Salud y Seguridad</b>
<p style="text-align: center;"><b>hydrolysis assisted solidification (HAS)</b></p>	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. El sistema de gelificación genera amoníaco que es un gas tóxico e irritante, deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Freeze Casting (FC)</b></p>	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. Ante el eventual uso de solventes diferentes al agua que tengan algún grado de toxicidad deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso. Deben implementarse las normas de seguridad necesarias en el manejo de sistemas de enfriamiento utilizados para la congelación en los moldes y en los posteriores pasos de secado en frío.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Electrophoretic Deposition (EPD)</b></p>	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. Ante el eventual uso de solventes diferentes al agua que tengan algún grado de toxicidad deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso. Deben implementarse las normas de seguridad necesarias en el manejo de los sistemas eléctricos utilizados en la electrodeposición en los moldes.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Tape casting (TC)</b></p>	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. El manejo de sistemas de gelificación tóxicos debería evitarse al máximo, en caso de que se mantenerse en algún grado deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso. Por el uso de bandas y partes móviles deben implementarse guardas y otras medidas de seguridad para prevenir el riesgo de atrapamiento.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Salud y Seguridad</b>
<b>solid free form fabrication (SFF)</b>	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. El manejo de sistemas de gelificación tóxicos debería evitarse al máximo, en caso de que se mantenga en algún grado deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso. Por el uso de bandas y partes móviles deben implementarse guardas y otras medidas de seguridad para prevenir el riesgo de atrapamiento. En caso de uso de tecnología láser deben implementarse las medidas de protección correspondientes.</p>
<b>injection moulding (IM)</b>	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. El manejo de sistemas de ligantes y plastificantes tóxicos debería evitarse al máximo, en caso de que se mantenga en algún grado deben implementarse de medidas de seguridad y protección personal especiales para eliminar riesgos de intoxicación en todas las etapas del proceso. Los sistemas de calentamiento de la pasta para inyección deben contar con las medidas de protección necesarias para evitar el riesgo de quemaduras. Los moldes deben estar diseñados para soportar la presión de inyección y mitigar el riesgo de explosión. Por el uso de partes móviles en apertura y cierre de los moldes deben implementarse guardas y otras medidas de seguridad para prevenir el riesgo de atrapamiento. En los procesos de maquinado y eliminación de rebabas deben implementarse medidas de protección personal para evitar cortes y la exposición a material particulado.</p>
<b>Extrusion (E)</b>	<p>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. Por el uso de partes móviles en la tolva de amasado y en los procesos de corte y extracción de las piezas deben implementarse guardas y otras medidas de seguridad para prevenir el riesgo de atrapamiento.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
<p data-bbox="256 688 410 751">isostatic pressing (IP)</p>	<p data-bbox="456 600 1393 842"> <b>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. El manejo de fluidos en cámaras y circuitos a altas presiones requiere la implementación de las medidas necesarias para mitigar el riesgo de explosiones. El manejo de polvos secos requiere el uso de medidas de protección personal para mitigar el riesgo de exposición.</b> </p>
<p data-bbox="256 1457 410 1520">Dry pressing (DP)</p>	<p data-bbox="456 1331 1393 1644"> <b>Para la fabricación de piezas de tamaño significativo en cualquier tecnología se generan riesgos ergonómicos por la manipulación de cargas y movimientos repetitivos, los cuales deben ser mitigados por la utilización de ayudas mecánicas. Por el uso de bandas y partes móviles deben implementarse guardas y otras medidas de seguridad para prevenir el riesgo de atrapamiento. El manejo de fluidos en cámaras y circuitos a altas presiones requiere la implementación de las medidas necesarias para mitigar el riesgo de explosiones. El manejo de polvos secos requiere el uso de medidas de protección personal para mitigar el riesgo de exposición.</b> </p>

## ANEXO 7 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS (DISEÑO DE PRODUCTO)

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Diseño de Producto</b>
slip casting (SC)	<p>Es un proceso versátil en la obtención de formas tridimensionales tanto sólidas como huecas (drenadas). Pueden generarse piezas en un rango de tamaños amplio hasta de aproximadamente 1 m de longitud, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. El diseño de las piezas está limitado en alguna medida por la característica de que la formación de las paredes se hace sobre la superficie del molde, por la contracción inherente al proceso de secado y quema de la pieza (10-12%) y la relativa baja resistencia mecánica de la pieza formada. Al ser la escayola un material blando el desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación ocasiona un desgaste que limita el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y genera un rango de variación en el calibre de las piezas. Las limitaciones de diseño en radios de curvatura y espesores de pared que establece la tecnología pueden reducir el valor percibido por el consumidor.</p>
Pressure slip casting (PSC)	<p>Es un proceso versátil en la obtención de formas tridimensionales tanto sólidas como huecas (drenadas). Pueden generarse piezas en un rango de tamaños amplio hasta de aproximadamente 1 m de longitud, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso, y requiriendo equipos de mayor complejidad y costo debido a los mayores esfuerzos relacionados con la aplicación de altas presiones sobre el área interior de los moldes. El diseño de las piezas está limitado en alguna medida por la características de que la formación de las paredes se hace sobre la superficie del molde, sin embargo la aplicación de la alta presión en la formación de las piezas mejora en algo la resistencia mecánica de las piezas, permitiendo fabricar diseños más exigentes, mitigando los efectos de la contracción inherente al proceso de secado y quema de la pieza (10-12%). La mayor resistencia de las resinas frente a la escayola minimiza el desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación, permitiendo mejorar el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y generar un menor rango de variación en el calibre de las piezas. Se mantienen algunas limitaciones de diseño en radios de curvatura y espesores de pared que establece la tecnología y pueden reducir el valor percibido por el consumidor.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Diseño de Producto</b>
centrifugal slip casting (CSC)	<p>Es un proceso limitado en cuanto la obtención de formas ya que estas deben corresponder a sólidos de revolución sobre un eje (cilindros u otras formas simétricas), el tamaño de las piezas está limitado por la complejidad de hacer rotar sobre su eje grandes volúmenes. La aplicación de la fuerza centrífuga en la formación de las piezas mejora en algo la resistencia mecánica de las piezas, mitigando los efectos de la contracción inherente al proceso de secado y quema de la pieza (10-12%). Es de esperar que los moldes de escayola sufran desgaste durante los ciclos repetitivos limita el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y genera un rango de variación en el calibre de las piezas. Las limitaciones de diseño en radios de curvatura y espesores de pared que establece la tecnología pueden reducir el valor percibido por el consumidor. Se mantienen limitaciones de diseño en radios de curvatura y espesores de pared que establece la tecnología.</p>
gelcasting (GC)	<p>El proceso se limita a la obtención de formas tridimensionales sólidas por el hecho de que la consolidación no se desarrolla sobre las paredes del molde sino en la totalidad de la suspensión, lo que puede limitar la obtención de formas huecas (drenadas). Pueden generarse piezas en un rango de tamaños amplio incluso de más de 1 m de longitud por la mayor resistencia que el sistema ligante otorga a la pasta, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. La mejor resistencia mecánica de la pieza formada puede permitir el desarrollo de diseños más exigentes, con paredes más delgadas, menores radios lo que puede incrementar la percepción de valor de las piezas. Al trabajar moldes de materiales no porosos no se presenta desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación mejorando el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y eliminando la variación en el calibre de las piezas debido al desgaste.</p>
temperature induced forming (TIF)	<p>El proceso se limita a la obtención de formas tridimensionales sólidas por el hecho de que la consolidación no se desarrolla sobre las paredes del molde sino en la totalidad de la suspensión, lo que puede limitar la obtención de formas huecas (drenadas). Pueden generarse piezas en un rango de tamaños</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Diseño de Producto</b>
	<p>amplio incluso de más de 1 m de longitud por la mayor resistencia que el sistema ligante otorga a la pasta, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. La mejor resistencia mecánica de la pieza formada puede permitir el desarrollo de diseños más exigentes, con paredes más delgadas, menores radios lo que puede incrementar la percepción de valor de las piezas. Al trabajar moldes de materiales no porosos no se presenta desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación mejorando el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y eliminando la variación en el calibre de las piezas debido al desgaste.</p>
<b>In situ coagulation rotary moulding (ICRM)</b>	<p>El proceso se limita a la obtención de formas tridimensionales huecas ya que mediante la rotación se busca que la consolidación se desarrolla sobre las paredes del molde, pueden tenerse limitaciones en diseños que requieran combinar esto con paredes sólidas. Pueden generarse piezas en un rango de tamaños amplio incluso de más de 1 m de longitud por la mayor resistencia que el sistema ligante otorga a la pasta, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso, por las exigencias mecánicas en el equipo de rotomoldeo. La mejor resistencia mecánica de la pieza formada puede permitir el desarrollo de diseños más exigentes, con paredes más delgadas, menores radios lo que puede incrementar la percepción de valor de las piezas. Al trabajar moldes de materiales no porosos no se presenta desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación mejorando el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y eliminando la variación en el calibre de las piezas debido al desgaste.</p>
<b>Direct Coagulation Casting (DCC)</b>	<p>El proceso se limita a la obtención de formas tridimensionales sólidas por el hecho de que la consolidación no se desarrolla sobre las paredes del molde sino en la totalidad de la suspensión, lo que puede limitar la obtención de formas huecas (drenadas). Pueden generarse piezas en un rango de tamaños amplio incluso de más de 1 m de longitud por la mayor resistencia que el sistema ligante otorga a la pasta, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. La mejor resistencia mecánica de la pieza formada puede permitir el desarrollo de diseños más exigentes, con paredes más delgadas, menores radios lo que puede incrementar la percepción de valor de las piezas. Al trabajar moldes de materiales no porosos no se presenta desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación mejorando el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y eliminando la variación en el calibre de las piezas debido al desgaste.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Diseño de Producto</b>
<p style="text-align: center;"><b>hydrolysis assisted solidification (HAS)</b></p>	<p>El proceso se limita a la obtención de formas tridimensionales sólidas por el hecho de que la consolidación no se desarrolla sobre las paredes del molde sino en la totalidad de la suspensión, lo que puede limitar la obtención de formas huecas (drenadas). Pueden generarse piezas en un rango de tamaños amplio incluso de más de 1 m de longitud por la mayor resistencia que el sistema ligante otorga a la pasta, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. La mejor resistencia mecánica de la pieza formada puede permitir el desarrollo de diseños más exigentes, con paredes más delgadas, menores radios lo que puede incrementar la percepción de valor de las piezas. Al trabajar moldes de materiales no porosos no se presenta desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación mejorando el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y eliminando la variación en el calibre de las piezas debido al desgaste.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Freeze Casting (FC)</b></p>	<p>El proceso se limita a la obtención de formas tridimensionales sólidas porosas, por la naturaleza misma del proceso en el cual se da una separación de las partículas sólidas al cristalizarse el solvente durante la congelación, dejando poros una vez este es eliminando. Esta porosidad limita el tipo de aplicaciones en las que puedan aplicar los productos terminados, debiendo evaluarse si el material es susceptible a ser esmaltado. La dificultad en controlar el enfriamiento para que la congelación se desarrolle sólo sobre las paredes del molde y no en la totalidad de la suspensión limita la obtención de formas huecas (drenadas). El rango de tamaños de las piezas a obtener está limitado por la baja resistencia de la pasta porosa obtenida una vez se elimina el solvente por sublimación. Esto implica también limitaciones en el espesor de las paredes y los radios lo que puede afectar la percepción de valor de las piezas. Al trabajar moldes de materiales no porosos no se presenta desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación mejorando el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies, pero limitado según la porosidad del material obtenido. Tampoco se espera variación en el calibre de las piezas debidas al desgaste.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Electrophoretic Deposition (EPD)</b></p>	<p>El proceso se limita a la obtención de formas tridimensionales sólidas de consistencia similar a la de los procesos de colaje tradicional. La deposición se desarrolla sólo sobre las paredes del molde permitiendo la obtención de formas huecas (drenadas). El rango de tamaños de las piezas a obtener está limitado por las variaciones del campo eléctrico aplicado en superficies complejas. Esto puede implicar también limitaciones en el espesor de las paredes y los radios lo que puede afectar la percepción de valor de las piezas. Al trabajar moldes de materiales no porosos no se presenta desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación mejorando el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies. Tampoco se espera variación en el calibre</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<p align="center"><b>Diseño de Producto</b> de las piezas debidas al desgaste.</p>
<p align="center"><b>Tape casting (TC)</b></p>	<p>El proceso se limita a la obtención de cintas bidimensionales (2D) sólidas por el hecho de que la consolidación se desarrolla con una cuchilla sobre la superficie de una banda móvil, desde las cuales pueden generarse partes por troquelado. Esto limita en extremo la obtención de formas tridimensionales, excepto desarrollarse una técnica para la conformación de formas tridimensionales a partir de segmentos planos obtenidos desde la cinta. Pueden generarse piezas en un rango de tamaños limitado por el ancho de la banda y con un largo en teoría ilimitado, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. La mejor resistencia mecánica de la pieza formada puede permitir el desarrollo de paredes más delgadas, la percepción de valor de las piezas dependerá del éxito en obtener formas tridimensionales ajustadas a los requerimientos.</p>
<p align="center"><b>*solid free form fabrication (SFF)</b></p>	<p>En concepto el proceso es extremadamente versátil en la obtención de formas tridimensionales que podrían ser formas tanto sólidas como huecas (drenadas) considerando la limitación de que por conformarse la forma a partir de la apilación de capas sucesivas de material, puede ser necesario incluir en el diseño la aplicación de elementos de soporte que permitan el crecimiento gradual de la forma, sea en el mismo material o en un material de sacrificio. Pueden generarse piezas en un rango de tamaños de hasta 1 m de longitud limitados por el tamaño del área de trabajo de la máquina y resistencia que el sistema ligante otorga a la pasta, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. Con un sistema que otorgue una buena resistencia mecánica de la pieza formada puede permitir el desarrollo de diseños más exigentes, con paredes más delgadas, menores radios lo que puede incrementar la percepción de valor de las piezas. Al eliminar la necesidad de moldes no se presenta ningún tipo de variación asociada al desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación, mejorando el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y eliminando la variación en el calibre de las piezas debido al desgaste.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Diseño de Producto</b>
<b>injection moulding (IM)</b>	<p>Es un proceso versátil en la obtención de formas tridimensionales sólidas, por la naturaleza del proceso de inyección de la pasta que durante el enfriamiento se solidifica en toda la cavidad del molde no es apto para la producción de formas huecas (drenadas). Pueden generarse piezas en un rango de tamaños amplio hasta de aproximadamente 1 m de longitud, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso, y requiriendo equipos de mayor complejidad y costo debido a los mayores esfuerzos relacionados con la aplicación de altas presiones sobre el área interior de los moldes y dificultades para el llenado de los mismos. El diseño de las piezas está limitado en alguna medida por la características de que la formación y el flujo de llenado del molde, requiriéndose un análisis cuidadoso del mismo incluso mediante programas de simulación para evitar al generación de defectos, sin embargo la aplicación de la alta presión en la formación de las piezas y el uso de sistemas ligantes termoplásticos mejora en significativamente la resistencia mecánica de las piezas, permitiendo fabricar diseños más exigentes, mitigando los efectos de la contracción inherente al proceso de secado y quema de la pieza (10-12%). Por el uso de moldes metálicos durables el desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación se minimiza, permitiendo mejorar el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y obteniendo un mínimo rango de variación en el calibre de las piezas. Se mejora el diseño en radios de curvatura y espesores de pared que establece la tecnología incrementando el valor percibido por el consumidor.</p>
<b>Extrusion (E)</b>	<p>El proceso se limita en principio a la obtención de segmentos sólidos cortados desde una pieza continua que es la proyección lineal del perfil de la boquilla de extrusión, en algunos procesos es posible generar desde estas otras formas derivadas mediante procesos de deformación por prensado o maquinado, limitando el diseño de las partes que es posible obtener. Pueden generarse piezas en un rango de tamaños limitado por las dimensiones de la boquilla, dentro de los límites físicos de la presión necesaria para forzar el paso de la pasta por la misma y con un largo limitado por la manipulación de la pieza obtenida, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. La mejor resistencia mecánica de la pieza formada puede permitir el desarrollo de paredes más delgadas, la percepción de valor de las piezas dependerá del éxito en obtener formas tridimensionales ajustadas a los requerimientos.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Diseño de Producto</b>
<b>isostatic pressing (IP)</b>	<p>Es un proceso versátil en la obtención de formas tridimensionales sólidas, por la naturaleza del proceso prensado en toda la cavidad del molde no es apto para la producción de formas huecas (drenadas). Pueden generarse piezas en un rango de tamaños amplio hasta, limitado por las dimensiones de la cámara presurizada (de hasta 2,5 m de diámetro y 3,0 m de longitud), la complejidad de obtener un llenado homogéneo en el molde flexible y la extracción de la pieza conformada después del prensado, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. La aplicación de la alta presión isostática en la formación de las piezas mejora en significativamente la resistencia mecánica de las piezas tanto crudas como terminadas, permitiendo fabricar diseños más exigentes, mitigando los efectos de la contracción inherente al proceso de secado y quema de la pieza. Por el uso de moldes durables el desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación se minimiza, permitiendo mejorar el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y un mínimo rango de variación en el calibre de las piezas. Se mejora el diseño en radios de curvatura y espesores de pared que establece la tecnología incrementando el valor percibido por el consumidor.</p>
<b>Dry pressing (DP)</b>	<p>Por el hecho de aplicar la presión en forma uniaxial es un proceso limitado a la obtención de formas planas sólidas con mínimas variaciones en su espesor y que permitan una fácil expulsión del molde, no es apto para la producción de formas huecas (drenadas). Pueden generarse piezas en un rango de tamaños amplio hasta de 1 m en los sistemas tradicionales y mayores con las últimas tecnologías de prensado en banda, limitado por las dimensiones de la cavidad del molde y la presión que pueda ejercer la prensa, es requisito obtener un llenado homogéneo en la cavidad del molde para evitar deformaciones por contracción diferencial en etapas posteriores, haciéndose más compleja y menos productiva la fabricación en la medida en que se incrementa el tamaño y el peso. La aplicación de la alta presión uniaxial en la formación de las piezas mejora en significativamente la resistencia mecánica de las piezas tanto crudas como terminadas, permitiendo fabricar diseños exigentes dentro de las limitaciones de formas planas propias de la tecnología y mitigando los efectos de la contracción al proceso de secado y quema de la pieza. Por el uso de moldes durables el desgaste durante los ciclos repetitivos de fabricación se minimiza, permitiendo mejorar el nivel de detalle que se puede obtener en las superficies y un mínimo rango de variación en el calibre de las piezas. La mejor resistencia mecánica de la pieza formada puede permitir el desarrollo de paredes más delgadas, la percepción de valor de las dependerá de obtener formas 3D según requerimientos.</p>

**ANEXO 8 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS  
(CALIDAD Y RENDIMIENTO)**

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Calidad y Rendimiento</b>
slip casting (SC)	Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de agua.
Pressure slip casting (PSC)	Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de agua.
centrifugal slip casting (CSC)	Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de agua. La mayor consistencia de la pieza obtenida por la aplicación de la fuerza centrífuga puede contribuir en algo a mejorar la densificación y resistencia mecánica de la pieza mejorando los resultados.
gelcasting (GC)	Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de agua. La mayor consistencia de la pieza obtenida por la gelificación puede contribuir en algo a mejorar la densificación y resistencia mecánica de la pieza mejorando los resultados. Si se logra desarrollar en forma homogénea la reacción de consolidación en todo el volumen de la pieza se eliminan los gradientes de densidad que se producen cuando se hace el transporte de las partículas cerámicas hacia las paredes del molde para hacer la formación.

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Calidad y Rendimiento</b>
<p style="text-align: center;"><b>temperature induced forming (TIF)</b></p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de agua. La mayor consistencia de la pieza obtenida por la gelificación puede contribuir en algo a mejorar la densificación y resistencia mecánica de la pieza mejorando los resultados. Si se logra desarrollar en forma homogénea la reacción de consolidación en todo el volumen de la pieza se eliminan los gradientes de densidad que se producen cuando se hace el transporte de las partículas cerámicas hacia las paredes del molde cuando la formación se hace sobre la superficie del mismo.</p>
<p style="text-align: center;"><b>In situ coagulation rotary moulding (ICRM)</b></p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de agua. La densificación y resistencia mecánica de la pieza es similar a las obtenidas por el proceso de colaje tradicional por lo que se pueden esperar resultados similares.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Direct Coagulation Casting (DCC)</b></p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de agua. La mayor consistencia de la pieza obtenida por la gelificación puede contribuir en algo a mejorar la densificación y resistencia mecánica de la pieza mejorando los resultados. Si se logra desarrollar en forma homogénea la reacción de consolidación en todo el volumen de la pieza se eliminan los gradientes de densidad que se producen cuando se hace el transporte de las partículas cerámicas hacia las paredes del molde cuando la formación se hace sobre la superficie del mismo.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Calidad y Rendimiento</b>
<p style="text-align: center;"><b>hydrolysis assisted solidification (HAS)</b></p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de agua. La mayor consistencia de la pieza obtenida por la gelificación puede contribuir en algo a mejorar la densificación y resistencia mecánica de la pieza mejorando los resultados. Si se logra desarrollar en forma homogénea la reacción de consolidación en todo el volumen de la pieza se eliminan los gradientes de densidad que se producen cuando se hace el transporte de las partículas cerámicas hacia las paredes del molde cuando la formación se hace sobre la superficie del mismo.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Freeze Casting (FC)</b></p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a las bajas resistencias mecánicas. El proceso de secado en frío por sublimación mitiga el efecto de la contracción del producto.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Electrophoretic Deposition (EPD)</b></p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de solvente. La mayor consistencia de la pieza y la eliminación de gradientes de densidad obtenida por electrodeposición pueden contribuir en algo a mejorar la densificación y resistencia mecánica de la pieza mejorando los resultados.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Tape casting (TC)</b></p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado por partir de una suspensión con alto contenido de agua. Defectos adicionales pueden resultar de las tensiones generadas durante los procesos de conformado y troquelado para el conformado de piezas a partir de las cintas.</p>
<p style="text-align: center;"><b>solid free form fabrication (SFF)</b></p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado, dependiendo esto de si se parte de una suspensión y de la resistencia mecánica de la pieza</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Calidad y Rendimiento</b>
	<p>obtenida. La manipulación de la pieza necesaria para eliminar los excedentes de material no consolidado puede incidir en la generación de defectos.</p>
<p>injection moulding (IM)</p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado. El cambio de una suspensión por una pasta termoplástica y la mayor consistencia de la pieza obtenida por el proceso de inyección puede contribuir en algo a mejorar la densificación y resistencia mecánica de la pieza mejorando los resultados.</p> <p>Por la complejidad del flujo de material durante el llenado del molde pueden generarse gradientes de densidad que si no se analizan desde el diseño pueden generar deformaciones y grietas por concentración de esfuerzo durante el proceso de secado y quema. El proceso de eliminación del sistema ligante es crítico, por lo que de no ser realizado en la forma adecuada puede provocar deformación por núcleo negro e incluso la explosión de las piezas durante la quema por la salida súbita de gases desde el material. Igualmente en piezas con acabado esmaltado el proceso de desgasificación puede generar defectos de pin hole y hervido en la superficie.</p>
<p>Extrusion (E)</p>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado. El cambio de una suspensión por una pasta plástica y la mayor consistencia de la pieza obtenida por el proceso de extrusión puede contribuir en algo a mejorar la densificación y resistencia mecánica de la pieza mejorando los resultados.</p> <p>Por la complejidad del flujo de material durante la extrusión pueden generarse gradientes de densidad que si no se analizan desde el diseño pueden generar deformaciones y grietas por concentración de esfuerzo durante el proceso de secado y quema.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Calidad y Rendimiento</b>
<b>isostatic pressing (IP)</b>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado. El cambio de una suspensión por una polvo seco y la mayor consistencia de la pieza obtenida por la aplicación de alta presión en forma isostática mejora significativamente la densificación y resistencia mecánica de la pieza. Por la complejidad del llenado uniforme del molde pueden generarse gradientes de densidad que si no se analizan desde el diseño pueden generar deformaciones y grietas por concentración de esfuerzo durante el proceso de secado y quema.</p>
<b>Dry pressing (DP)</b>	<p>Las principales pérdidas de calidad tanto en proceso como en el producto terminado se producen por la generación de grietas asociadas a la contracción inherente del producto durante el secado. El cambio de una suspensión por una polvo seco y la mayor consistencia de la pieza obtenida por la aplicación de alta presión en forma uniaxial mejora significativamente la densificación y resistencia mecánica de la pieza siempre. Si no se asegura el llenado uniforme del molde pueden generarse gradientes de densidad que si no se analizan desde el diseño pueden generar deformaciones y grietas por concentración de esfuerzo durante el proceso de secado y quema.</p>

**ANEXO 9 - REQUERIMIENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS  
(VARIABLES LOGÍSTICAS)**

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Variables Logísticas</b>
slip casting (SC)	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los moldes (del orden de 100 ciclos) que debe cumplirse para lograr el aprovechamiento de los mismos, lo cual limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto en menor medida que aquellas técnicas que usan moldes de mayor durabilidad. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes.</p>
Pressure slip casting (PSC)	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Los materiales necesarios para la fabricación de los moldes de resina o los moldes mismos son importados desde los proveedores de maquinaria y tecnología ubicados principalmente en Europa. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la muy alta vida útil de los moldes y el alto costo de fabricación, requiriendo altos volúmenes para lograr el aprovechamiento de los mismos, lo cual limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
<b>Variables Logísticas</b>	
centrifugal slip casting (CSC)	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los moldes para lograr el aprovechamiento de los mismos, lo cual limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación mejoran marginalmente por la reducción de los tiempos de ciclo en formación, los tiempos de secado y los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes se mantienen.</p>
gelcasting (GC)	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. Los aditivos que conforman el sistema gelificante en general corresponden a sustancias químicas de alto costo y cuya obtención a escala industrial podría estar limitada si las mismas no son utilizadas en otras ramas de la industria, de no ser así deberá evaluarse de la viabilidad de integrar en el proceso la síntesis de estos aditivos a partir de otros precursores disponibles comercialmente. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los moldes que son fabricados en materiales durables para lograr el aprovechamiento de los mismos, lo cual limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes.</p>
temperature induced forming (TIF)	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. Los aditivos que conforman el sistema gelificante en</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Variables Logísticas</b>
	<p>general corresponden a sustancias químicas de alto costo y cuya obtención a escala industrial podría estar limitada si las mismas no son utilizadas en otras ramas de la industria, que en esta tecnología incluye algunos aditivos comunes en la industria de alimentos, de no ser así deberá evaluarse de la viabilidad de integrar en el proceso la síntesis de estos aditivos a partir de otros precursores disponibles comercialmente. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los moldes que son fabricados en materiales durables, lograr el aprovechamiento de los mismos limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes.</p>
<b>In situ coagulation rotary moulding (ICRM)</b>	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. Los aditivos que conforman el sistema gelificante en general corresponden a sustancias químicas de alto costo y cuya obtención a escala industrial podría estar limitada si las mismas no son utilizadas en otras ramas de la industria, que en este caso sería la industria de alimentos, de no estar disponible en el mercado deberá evaluarse de la viabilidad de integrar en el proceso la síntesis de estos aditivos a partir de otros precursores disponibles comercialmente. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los moldes que son fabricados en materiales durables, lograr el aprovechamiento de los mismos limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se estiman similares a los del colaje tradicional en tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes.</p>
<b>Direct Coagulation Casting (DCC)</b>	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. Los aditivos que conforman el sistema gelificante en general corresponden a sustancias químicas de alto costo y cuya obtención a</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Variables Logísticas</b>
	<p>escala industrial podría estar limitada si las mismas no son utilizadas en otras ramas de la industria, de no ser así deberá evaluarse de la viabilidad de integrar en el proceso la síntesis de estos aditivos a partir de otros precursores disponibles comercialmente. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los moldes que son fabricados en materiales durables, lograr el aprovechamiento de los mismos limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes.</p>
<b>hydrolysis assisted solidification (HAS)</b>	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. El Nitruro de Aluminio es una sustancia química de alto costo y cuya obtención a escala industrial podría estar limitada si las mismas no son utilizadas en otras ramas de la industria, de no ser así deberá evaluarse de la viabilidad de integrar en el proceso la síntesis a partir de otros precursores disponibles comercialmente. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los moldes que son fabricados en materiales durables, lograr el aprovechamiento de los mismos limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes.</p>
<b>Freeze Casting (FC)</b>	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<p style="text-align: center;"><b>Variables Logísticas</b></p> <p>justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. En caso de requerirse el uso de solventes diferentes al agua estos materiales son de fácil obtención y al ser reciclables en el proceso su reposición no debe constituir un problema significativo. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los moldes que son fabricados en materiales durables, lograr el aprovechamiento de los mismos limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Electrophoretic Deposition (EPD)</b></p>	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. En caso de requerirse el uso de solventes diferentes al agua estos materiales son de fácil obtención y al ser reciclables en el proceso su reposición no debe constituir un problema significativo. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los moldes que son fabricados en materiales durables, lograr el aprovechamiento de los mismos limita la capacidad de fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Tape casting (TC)</b></p>	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. Los aditivos que conforman el sistema gelificante en general corresponden a sustancias químicas de alto costo y cuya obtención a escala industrial podría estar limitada si las mismas no son utilizadas en otras ramas de la industria, de no ser así deberá evaluarse de la viabilidad de integrar en el proceso la síntesis de estos aditivos a partir de otros precursores disponibles comercialmente. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Los lotes mínimos de fabricación están condicionados por los costos de puesta en</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<p style="text-align: center;"><b>Variables Logísticas</b></p> <p style="text-align: center;">marcha del equipo incluyendo pérdidas de material por purga y tiempos muertos. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de referencia o formulación.</p>
<p style="text-align: center;"><b>solid free form fabrication (SFF)</b></p>	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. Los aditivos que conforman el sistema gelificante en general corresponden a sustancias químicas de alto costo y cuya obtención a escala industrial podría estar limitada si las mismas no son utilizadas en otras ramas de la industria, de no ser así deberá evaluarse de la viabilidad de integrar en el proceso la síntesis de estos aditivos a partir de otros precursores disponibles comercialmente. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Al eliminar los moldes los lotes mínimos de fabricación no están condicionados por la vida útil de los mismos, por lo que en principio este tipo de técnicas permitiría fabricar tirajes cortos de producto. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en formación, secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de diseño en la máquina.</p>
<p style="text-align: center;"><b>injection moulding (IM)</b></p>	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. Los aditivos que conforman el sistema ligante y plastificante en general corresponden a sustancias químicas de alto costo y cuya obtención a escala industrial podría estar limitada si las mismas no son utilizadas en otras ramas de la industria, de no ser así deberá evaluarse de la viabilidad de integrar en el proceso la síntesis de estos aditivos a partir de otros precursores disponibles comercialmente. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Al utilizar moldes de muy alto valor los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los mismos, por lo que en principio este tipo de técnicas no serían aptas para fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Igualmente al ser en principio una técnica que opera con ciclajes altos solo sería apta para fabricar lotes de alto volumen.</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Variables Logísticas</b>
	<p>Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de ciclo en secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de molde en la máquina, los cuales pueden controlarse en algo mediante la implementación de procedimientos SMED (single minute exchange of dies).</p>
Extrusion (E)	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Al utilizar boquillas de alto valor los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los mismos, por lo que en principio este tipo de técnicas no serían aptas para fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Igualmente al ser en principio una técnica que opera con ciclajes altos solo sería apta para fabricar lotes de alto volumen. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de boquilla en la máquina, los cuales pueden controlarse en algo mediante la implementación de procedimientos SMED (single minute exchange of dies).</p>
isostatic pressing (IP)	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Al utilizar moldes durables los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los mismos, igualmente al ser un proceso en batch se debe asegurar el aprovechamiento de la capacidad de carga para aprovechar al máximo cada ciclo de operación. En principio este tipo de técnicas no serían aptas para fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de secado y por los tiempos muertos asociados a paros por el cargue y descargue de la máquina, los cuales pueden controlarse en algo mediante la implementación de procedimientos SMED (single minute exchange of dies).</p>

PROCESO	REQUERIMIENTOS
	<b>Variables Logísticas</b>
<b>Dry pressing (DP)</b>	<p>Para tener viabilidad económica en la cerámica tradicional las materias primas cerámicas deberán ser obtenidas en proveedores locales, preferiblemente pertenecientes a un clúster o con integración vertical de la explotación minera. La necesidad de utilizar materiales de importación solo se justifica con reducciones significativas de las pérdidas por rotura o un incremento del valor agregado del producto. Al utilizar moldes durables los lotes mínimos de fabricación están condicionados por la vida útil de los mismos. En principio este tipo de técnicas no serían aptas para fabricar tirajes cortos de producto si estos no son de alto valor agregado. Los lead time de fabricación se extiende debido a los tiempos de secado y por los tiempos muertos asociados a paros por cambio de moldes en la máquina, los cuales pueden controlarse en algo mediante la implementación de procedimientos SMED (single minute exchange of dies).</p>