

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



**“Estudio de la trayectoria tecnológica y científica  
de los compresores scroll para refrigeración y  
bombas de calor”**

Trabajo de Fin de Máster

---

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN CULTURA CIENTÍFICA  
Y DE LA INNOVACIÓN**

**Autor: Fernando Mauricio Tello-Oquendo**

**Director: Dr. José David Barberá-Tomás**



Universidad de Oviedo



Valencia, septiembre 2021

## **ÍNDICE GENERAL**

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. METODOLOGÍA .....	15
4.1 Trayectoria científica.....	15
4.2 Trayectoria tecnológica.....	17
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	20
5.1 Análisis de la trayectoria científica.....	20
5.2 Análisis de la trayectoria tecnológica.....	34
5.3 Análisis de la coevolución científica y tecnológica de los compresores scroll .....	45
4. CONCLUSIONES .....	48
REFERENCIAS .....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Búsqueda de artículos científicos en la base de datos WoS.....	15
Figura 2. Interfaz del programa CitNetExplorer. ....	16
Figura 3. Generación de la red de artículos científicos en el programa Pajek. ....	16
Figura 4. Gráfica de la red de artículos científicos en el programa Pajek.....	17
Figura 5. Ejemplo de red de la evolución de las rutas superiores de patentes (NETP) (Barberá-Tomás et al., 2011).....	18
Figura 6. Generación de la red de patentes en el programa Pajek.....	19
Figura 7. Gráfica de la red de patentes en el programa Pajek. ....	19
Figura 8. Resultados de la base de datos sobre compresores scroll abierto en CitNetExplorer.....	20
Figura 9. Trayectoria científica de la tecnología de compresores scroll. ....	21
Figura 10. Parámetros geométricos del modelo de compresor scroll (Morishita et al., 1984).....	22
Figura 11. Configuración de las espirales del compresor scroll (Ishii et al., 1988). ....	22
Figura 12. Esquema de los cuatro tipos de fugas en el compresor scroll (B. Wang et al., 2005). ...	26
Figura 13. Esquema general del modelo de compresor scroll (B. Wang et al., 2008). ....	27
Figura 14. Esquema de los sistemas con inyección de vapor utilizando economizador y tanque flash (X. Wang et al., 2009). ....	28
Figura 15. Esquema del modelo de compresor scroll y estructura de enfriamiento (Sun et al., 2010). .....	30
Figura 16. Circuito de la bomba de calor HPS utilizando un compresor scroll (Byrne et al., 2012). .....	31
Figura 17. Transformaciones del refrigerante a través del compresor scroll (Byrne et al., 2014). ....	32
Figura 18. Esquema del modelo de compresor scroll con inyección de vapor y velocidad variable (Dardenne et al., 2015). ....	33
Figura 19. Análisis de la trayectoria científica de los compresores scroll. ....	34
Figura 20. Trayectoria principal (SPNP) de los compresores scroll. ....	35
Figura 21. Trayectoria tecnológica de los compresores scroll. ....	35

Figura 22. Vista en sección transversal de las volutas, tomada en un plano perpendicular al eje del compresor scroll (Shaffer & Acker, 1983).....	36
Figura 23. Vista frontal en sección transversal de un compresor scroll propuesto por Hayano et al. (1987).....	37
Figura 24. Vista en perspectiva de un elemento de regulación fina en un compresor scroll propuesto por Guttinger (1992). ....	38
Figura 25. Vista de planta y lateral del scroll orbital propuesto por Amata et al. (1992). ....	38
Figura 26. Vista una vista en planta de una superficie exterior e interior de una espiral fija del compresor scroll (Shaffer et al., 1995).....	40
Figura 27. Vista de elevación del eje loco de dos piezas y vista de planta de la base del compresor scroll (Shaffer, 2000). ....	41
Figura 28. Vista de planta de la placa de enfriamiento utilizando fuelles en un compresor scroll (Shaffer, 2011). ....	42
Figura 29. Vista de la sección transversal del dispositivo scroll (Shaffer & Shaffer, 2015).....	43
Figura 30. Diagrama del ciclo compacto de energía. ....	43
Figura 31. Trayectoria tecnológica de los compresores scroll. ....	44
Figura 32. Análisis de la coevolución científica y tecnológica de los compresores scroll.....	47

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Características de las actividades de exploración y explotación (Ángel & Rivero, n.d.)... 10

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación estudia de la trayectoria tecnológica y científica de los compresores scroll para refrigeración y bombas de calor. La metodología utilizada es el análisis de conectividad de citas tanto de patentes como de artículos científicos utilizando las bases de datos de la USPTO y de la Web of Science, respectivamente. Las trayectorias de patentes y de artículos científicos fueron generadas con el uso de los programas Citnet Explorer y Pajek. La trayectoria científica resultante consta de quince artículos científicos, identificándose cinco líneas de investigación que incluyen el estudio de conformidades axial y radial del compresor utilizando modelos geométricos; rendimiento de compresores scroll con inyección de vapor, utilizando modelos geométricos detallados de las espirales del compresor; uso de modelos semi-empíricos para el análisis del uso de refrigerantes naturales, mejoras del rendimiento del sistema con inyección de vapor, velocidad variable; aplicaciones en expansores para ciclos orgánicos Rankine y base para el modelado de otras tecnologías de compresor como compresores de tornillo y rotativo de pistones y uso de modelos empíricos de compresores scroll. La trayectoria tecnológica consta de trece patentes, las cuales fueron agrupadas en tres grupos de invenciones relacionadas con dispositivos scroll con diferentes espesores en las volutas, con sistemas de sellado entre scrollles, nervaduras de refuerzo y disipación de calor, acoplamientos, uso de manivelas locas; dispositivos scroll para aplicaciones de compresores, bombas de vacío y expansores; dispositivos scroll para ciclos compactos de energía. Desde la aparición de la primera patente de compresor scroll en 1905, esta tecnología tuvo que superar el desafío de contar con un mecanizado de los scrollles con tolerancias estrechas en su fabricación, razón por la cual, tanto para la trayectoria tecnológica como para la trayectoria científica, la red principal de patentes y artículos científicos empezaron a inicios de la década de los 80. Se identificaron dos partes en la coevolución de las trayectorias científica y tecnológica. La primera parte que trata sobre el modelado de un compresor scroll para análisis de conformidades geométricas, uso de nuevos refrigerantes y estimación del rendimiento de sistemas. La segunda parte que trata sobre el rendimiento de un expansor scroll en un ciclo ORC. Finalmente, el compresor scroll es una tecnología muy versátil, que ha sido continuamente innovada para dar solución en el sector de la refrigeración, de acuerdo con las exigencias de eficiencia energética, demanda energética en climas extremos, nuevos refrigerantes, nuevos sistemas de calefacción, producción de agua caliente sanitaria, ciclos ORC y aplicaciones en expansores y bombas de vacío.

**PALABRAS CLAVE:** compresor scroll, trayectoria científica, trayectoria tecnológica, innovación, coevolución

## ABSTRACT

This research work studies the technological and scientific trajectory of scroll compressors for refrigeration and heat pumps. The methodology used is the citation connectivity analysis of both patents and scientific papers using the USPTO and Web of Science databases, respectively. The patent and scientific papers trajectories were generated with the use of the Citnet Explorer and Pajek programs. The resulting scientific trajectory consists of fifteen scientific papers, identifying five lines of research that include the study of axial and radial conformities of the compressor using geometric models; performance of vapor injection scroll compressors, using detailed geometric models of the compressor coils; use of semi-empirical models for the analysis of the use of natural refrigerants, system performance improvements with vapor injection, variable speed; applications in expanders for organic Rankine cycles and base for the modeling of other compressor technologies such as screw and rotary piston compressors, and the use of empirical models of scroll compressors. The technological trajectory consists of thirteen patents, which were grouped into three groups of inventions related to scroll devices with different thicknesses in the volutes, with sealing systems between scrolls, reinforcement ribs, and heat dissipation, couplings, use of idler cranks; scroll devices for compressor, vacuum pump, and expander applications; scroll devices for compact power cycles. Since the appearance of the first scroll compressor patent in 1905, this technology had to overcome the challenge of having machining of scrolls with tight tolerances in their manufacture, which is why, both for the technological trajectory and the scientific trajectory, the main network of patents and scientific articles began in the early 1980s. Two parts were identified in the co-evolution of the scientific and technological trajectories. The first part that deals with the modeling of a scroll compressor for analysis of geometric conformities, use of new refrigerants, and estimation of system performance. The second part that deals with the performance of a scroll expander in an ORC loop. Finally, the scroll compressor is a very versatile technology, which has been continuously innovated to provide solutions in the refrigeration sector, in accordance with the requirements of energy efficiency, energy demand in extreme climates, new refrigerants, new heating systems, production of domestic hot water, ORC cycles and applications in expanders and vacuum pumps.

**KEYWORDS:** scroll compressor, scientific trajectory, technological trajectory, innovation, coevolution

## 1. INTRODUCCIÓN

El compresor scroll fue descrito por primera vez, y patentado en 1905, por el francés Leon Creux. Es un dispositivo constituido por un rotor en forma de espiral, excéntrico respecto al árbol motor, que rueda sobre la superficie del estator, que en lugar de ser circular tiene forma de espiral concéntrica con el árbol motor. Su diseño basado en dos espirales o scrolls, que se tienen que fabricar con tolerancias de mecanizado bastante estrechas (inferiores a 10 micras), hizo que, desafortunadamente, su concepto fuese olvidado, ya que en aquella época no existía la tecnología de precisión suficiente para su producción. En 1972 el físico Niels Young retomó el concepto del scroll, y propuso la idea a Arthur D. Little, en Cambridge, Massachussets, y su empresa se convirtió en la primer compañía en aplicar la tecnología del scroll a compresores de aire acondicionado, y así, en 1973 se desarrolló un modelo viable, en el cual las técnicas de mecanizado por control numérico utilizadas, hicieron posible la fiabilidad de fabricación imprescindible para este tipo de compresores (Renedo & Fernandez, 2000).

Las condiciones existentes en los años 70, tendientes a mejorar la eficiencia de los compresores, permitieron incentivar el desarrollo del compresor scroll, ya que en comparación con los alternativos tienen las siguientes ventajas:

- Mejor eficiencia isentrópica
- Mayor fiabilidad
- Funcionamiento suave
- Menos ruido

por lo que se comenzó a introducir en los equipos de climatización y refrigeración. A finales de 1973 la empresa Artur D. Little, y la compañía Trane, comenzaron el desarrollo del compresor scroll para refrigeración, llegando a usar finalmente esta tecnología en sus productos. Su desarrollo continuó, sobre todo en Japón y en Estados Unidos, comenzando a mediados de la década de los 80 su introducción en otros sectores como el de la automoción. Hitachi y Mitsui Seiki en Japón introdujeron los compresores scroll para aire acondicionado lubricados con aceite, aunque estas unidades eran simples adaptaciones de sus compresores de refrigeración. Aunque los compresores scroll se han desarrollado para la industria de la refrigeración convencional, se han encontrado otros campos de aplicación, como la medicina, donde debido a su reducido nivel de ruido y no tener problemas de mantenimiento, los compresores scroll sin aceite se han instalado en máquinas de diálisis, ventiladores y nebulizadores.

Hoy en día los compresores scroll se utilizan ampliamente en aplicaciones comerciales y residenciales de aire acondicionado, refrigeración y bombas de calor; se utilizan por la mayor parte



de las grandes compañías de refrigeración y climatización como son Trane, Hitachi, entre otros; y son fabricados por varias compañías como Danfoss, Emerson, Mitsubishi Electric, Bitzer entre otros. Los compresores scroll de refrigeración tienen menor cantidad de partes móviles y son altamente fiables. Existen modelos para aplicaciones en un amplio rango, incluyendo bajas temperaturas de hasta -40°C. De diseño simple con 70% menos de partes móviles, ya que sólo dos partes están involucradas en el trabajo de la compresión, frente a las, al menos, 9 por cilindro que requiere una tecnología a pistón convencional.

En el ámbito de la ciencia, tecnología e innovación, la tecnología es un cúmulo de conocimientos. El conocimiento abarca categorías cognoscitivas, códigos de interpretación de la información, habilidades tácitas y heurísticas de resolución de problemas que son irreducibles a algoritmos, y es altamente relacional y contexto específico (Suárez et al., 2020). La tecnología puede ser caracterizada en sus aspectos más relevantes desde el punto de vista económico en términos de su grado de oportunidad tecnológica, acumulatividad del progreso técnico y apropiabilidad privada, que son todos aspectos que varían según el tipo de sector productivo que se trate y entre distintas actividades económicas (Malerba et al., 1997).

La innovación puede comprenderse directamente como cambios en la tecnología. La innovación es cualquier aplicación productiva de conocimiento nueva para la firma que es introducida exitosamente en el mercado. El Manual de Oslo, que guía los diseños actuales de la mayoría de las encuestas de innovación, en su cuarta edición, define la innovación como la introducción de “producto o proceso mejorado (o combinación de los mismos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores de la unidad y que se ha puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o ha sido puesto en uso por la unidad (proceso)” (*Oslo Manual 2018*, 2018).

La intensidad del proceso de innovación puede medirse por sus resultados o “outputs”, o por los esfuerzos realizados para innovar o “inputs”. Comúnmente, la innovación se mide en fusión de las patentes obtenidas, como indicador de resultado, y los gastos en investigación y desarrollo (i+d) como indicador del nivel de esfuerzos. La disponibilidad de bases de datos conteniendo uno u otro de dichos indicadores ha sido la causa más frecuentemente señalada para justificar sus usos. Pero, especialmente a partir de la década de 1990, fue creciendo el reconocimiento de las limitaciones que ambos indicadores tienen para medir adecuadamente el proceso de innovación, muy especialmente en los países más alejados de la frontera tecnológica. Y, en consecuencia, comenzaron a desarrollarse una serie de indicadores más completos y complejos, contruidos a partir de información proveniente de las encuestas tecnológicas o de innovación (Suárez et al., 2020).

La importancia o grado de novedad de la innovación permite clasificarla en radical o incremental. La innovación radical se identifica con eventos discontinuos que implican novedad y complejidad técnica, generalmente resultado de I+D, y que generan familias de nuevos productos, procesos,

etcétera. Implican cambios revolucionarios la manera de concebir la tecnología en un sector o rama productiva y representan puntos de inflexión para las prácticas existentes. Por su parte, las innovaciones de tipo incremental se definen como cambios menores que se introducen como resultado de procesos de aprendizaje, por lo general, en el proceso productivo y se refieren a pequeñas mejoras en productos o procesos ya existentes.

Las innovaciones son efecto de la acumulación, aplicación e interacción de los múltiples procesos sociales de aprendizaje que se incrustan en procesos y productos que son comercializados. Asimismo, la innovación es un proceso en el que se conjugan la explotación y la exploración. La explotación es una estrategia de corto plazo que implica lograr la eficiencia manteniendo los estándares y las rutinas dominantes. Por su parte, la exploración es una estrategia de largo alcance que impulsa la novedad a partir de nuevos descubrimientos, en un contexto en donde existe incertidumbre y se aprende a través del ensayo y el error (García Garnica & Reyes Álvarez, 2015).

Algunas de las diferencias entre estos dos procesos se resumen en la Tabla 1. La transición de los procesos de explotación a los de exploración está mediada por procesos creativos que toman la forma de nuevos productos o procesos innovativos. Esta espiral de descubrimiento abarca múltiples actividades, tales como: “invención-generación de idea, desarrollo, comercialización, penetración de mercado, difusión, consolidación, y diferenciación, lo cual conduce al comienzo de una invención. Esto debería explicar cómo la explotación y la exploración se suceden y emergen una de la otra” (Nooteboom, 2000)

Tabla 1. Características de las actividades de exploración y explotación (Ángel & Rivero, n.d.).

<b>EXPLORACIÓN</b>	<b>EXPLOTACIÓN</b>
Se asocia con el aprendizaje que transforma el espacio de posibles soluciones.	Se relaciona con el aprendizaje y la obtención de alguna ventaja en la disputa por la competencia de escasos recursos.
Sobrevivir a largo plazo.	Mantenerse a corto plazo.
Desarrollo de nuevas capacidades	Uso de las capacidades existentes.
Implica: riesgo, variación, experimentación, juego, flexibilidad, descubrimiento e innovación.	Se asocia a: refinamiento, opción, producción, eficiencia, selección, implementación y ejecución.
Hay riesgos cuando los agentes sólo se comprometen con la exploración en detrimento de la explotación, las hipótesis pueden permanecer subdesarrolladas y resultar en beneficios bajos.	Hay riesgos cuando los agentes sólo se comprometen con la explotación en detrimento de la exploración; es probable que el agente quede atrapado en un equilibrio subóptimo.
Se asocia con la relación de nuevas prácticas, productos y procesos.	Se relaciona con la estandarización de prácticas, productos y procesos.
Incrementa la probabilidad de lograr niveles de desempeño por arriba o debajo de la tendencia de la trayectoria histórica.	Es probable que mantenga la línea de tendencia histórica.
Cuestiona lo establecido, puede implicar una pérdida de control y coordinación.	Requiere conservar la identidad, conocimiento y prácticas existentes con cierta cantidad de control y coordinación.

El paso de los procesos de explotación hacia la exploración o descubrimiento de innovaciones está integrado por cinco etapas: consolidación, generalización, diferenciación, reciprocidad y acomodación (Gilsing & Nootboom, 2006). En la consolidación se crean innovaciones radicales que son la base de una exploración eficiente. En esta etapa, se genera un diseño dominante como resultado de la innovación que da respuesta a problemas sociales. Conforme el conocimiento se codifica y se acumula el aprendizaje, la innovación que surgió tratará de ser imitada y estandarizada; así, podrán crearse las condiciones organizacionales y productivas que permitan ejercer la explotación de manera eficiente.

En la fase de generalización se busca difundir las nuevas prácticas en contextos nuevos, es decir, se trata de usar las innovaciones para solucionar problemas diferentes a los que originalmente éstas se enfocaron. Durante este periodo hay exploración, pero se mantiene la explotación. En la distinción se analizan las diversas prácticas que dan origen a la innovación incremental por adaptación a nuevas condiciones de demanda y de producción. La reciprocidad implica hacer uso del aprendizaje para aplicar el prototipo original a situaciones diferenciadas a fin de dar variedad a los contenidos.

Finalmente, la fase de acomodación implica enfrentar las reglas de las estructuras establecidas que limitan los procesos de explotación y obstaculizan el surgimiento de nuevos diseños dominantes que podrán dar cauce a una nueva fase de consolidación.

Por lo tanto, “innovación”, más que un producto, es concebida como un proceso, en donde la invención, el descubrimiento o la novedad (exploración) son la principal fuente de la innovación (explotación). Es decir, la innovación es producto de nuevas ideas que dan lugar a un producto o proceso novedoso que socialmente es útil o da solución a un problema. Muchos de estos procesos creativos o novedosos, que surgen durante el proceso de exploración, se plasman inicialmente en secretos industriales o en patentes (García Garnica & Reyes Álvarez, 2015).

La apropiación de rentas o beneficios tecnológicos que derivan de la innovación se han convertido en el principal incentivo para que las empresas inviertan en investigación y desarrollo. La protección legal de los inventos tiene importancia económica para las firmas, sobre todo cuando la empresa que está difundiendo una tecnología emergente ha sido la primera en entrar al mercado. Las patentes representan el poder estratégico de negociación de las empresas que compiten en el mercado, no sólo cuando las tecnologías emergen, sino hasta que estas se consolidan. Las patentes influyen en la trayectoria de las innovaciones que, si bien se han logrado consolidar en el mercado, necesitan modificarse para solucionar problemas o crear mercados nuevos que requieren el surgimiento de innovaciones emergentes (Cimoli & Primi, 2008; Nootboom, 2000). Una de las formas a través de las cuales se le puede dar seguimiento al desempeño de las tecnologías emergentes o en consolidación, es a partir de su trayectoria tecnológica (Hilmola et al., 2003).

Una patente puede representar la invención que se hace respecto a un proceso, diseño o producto. Las patentes son documentos que representan invenciones técnicas que han pasado un examen en una oficina de patentes, tanto para asegurar su novedad como para precisar su utilidad potencial. Son, por tanto, una valiosa fuente de información del desarrollo tecnológico. Los documentos de patentes son también derechos de propiedad intelectual y de explotación que concede el Estado a los inventores (empresas o particulares) durante un espacio de tiempo, normalmente de 20 años. Las condiciones legales y jurídicas referentes a la aplicación y protección de las patentes varían mucho de un país a otro, lo que hace difícil las comparaciones internacionales. A efectos de comparación entre países, los indicadores de patentes se basan en el número de patentes solicitadas, aunque posteriormente puedan no ser concedidas, mejor que en el número de patentes concedidas, debido al desfase entre la fecha de solicitud y de concesión, que puede llegar a ser de hasta 10 años en algunos países. Las estadísticas sobre patentes se empezaron a recoger por razones administrativas, y en algunos países se remontan al siglo XIX. Cubren, por tanto, un número de años muy superior a las estadísticas de I+D, que no tienen más de 40 años. Las fuentes más utilizadas para conseguir los datos son las oficinas nacionales de patentes. Otros datos básicos provienen del WIPO (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, en Ginebra), que publica estadísticas de patentes desde 1979, y la Oficina Europea de Patentes (EPO), desde 1978. Las patentes de EEUU (US Patent and Trademark Office) son especialmente interesantes para analizar las citas de las patentes a otras patentes o a literatura científica.

Las patentes generalmente reflejan algunos de los inventos que realizan las empresas, dado que no todos los inventos se convierten en innovación. Sin embargo, las patentes se han utilizado para: cuantificar el desempeño tecnológico de los países, evaluar el cambio tecnológico a nivel sectorial, y para valorar los esfuerzos tecnológicos de las instituciones (Souitaris, 2002). Las patentes son entonces una aproximación de la actividad inventiva y de la innovación.

Entre las ventajas que ofrece la información contenida en una patente se encuentran las siguientes: son un indicador de la capacidad inventiva de las empresas; brindan datos de casi todas las actividades industriales; facilitan identificar a las personas o empresas que promueven inventos; favorecen el seguimiento histórico y evolutivo de productos o procesos; son un mecanismo de incentivo ex ante que da derechos exclusivos de uso a su inventor; y difunden y facilitan tener acceso a conocimientos codificados una vez que la patente vence (Lara Rivero et al., 2006).

No menos importante resulta la consideración de las patentes en tanto activos líquidos, es decir, como recursos que se intercambian entre empresas; aunque a veces la organización que recibe la patente puede carecer de las capacidades y de la infraestructura para aprovecharla y aplicar los conocimientos que de esta se derivan (Cimoli & Primi, 2008).

No obstante, hay que reconocer que la patente en tanto indicador de la capacidad inventiva de un país o de una empresa también tiene límites como los siguientes: no todas las invenciones se patentan ya que algunas se conservan como secretos industriales; existen diferencias legislativas en el proceso de patentamiento, lo que puede limitar los análisis comparativos a nivel internacional; la propensión a patentar varía de una industria a otra y de un país a otro; las patentes generan costos sociales en tanto rentas monopólicas y barreras para acceder a nuevos conocimientos; y no todos los inventos que se desean patentar son aceptados por el gobierno (Encaoua et al., 2006; Lara Rivero et al., 2006).

El análisis de conectividad de redes de patentes se ha aplicado al estudio de sistemas técnicos que se mueven entre diferentes niveles de agregación (Fontana et al., 2009; Martinelli, 2008; Verspagen, 2007) y para examinar la secuencia de diferentes innovaciones de productos para el tratamiento de una enfermedad médica (Mina et al., 2007). Los trabajos de análisis de conectividad abordan dos dimensiones de la evolución tecnológica, el epistemológico, que se relaciona con las características del conocimiento tecnológico; y el socioeconómico, que se preocupa más por la coevolución de las instituciones y la tecnología y por las estrategias organizativas.

Respecto a esta dimensión del conocimiento tecnológico, existen varios trabajos que realizaron un análisis de conectividad a diferentes tecnologías, estos estudios no presentan validación externa de sus resultados, probablemente debido a la gran escala de los problemas que abordan, ya que solo brindan como datos externos una descripción amplia de la historia de la tecnología tratada. Verspagen (2007) ofrece una breve introducción a la historia tecnológica de las pilas de combustible; Fontana et al. (2009) proporciona un breve historial y una descripción general de la evolución de la base estándar de Ethernet, Martinelli (2008) resume los principales cambios tecnológicos en la industria de conmutación de telecomunicaciones y Mina et al. (2007) da una breve descripción del problema de la enfermedad de las arterias coronarias. Barberá-Tomás et al. (2011) identificaron la necesidad de validación de las metodologías de citas de patentes, que abordaron probando una metodología reciente para estudiar la evolución tecnológica, el análisis de conectividad de redes de citas, y encontraron que el análisis de conectividad es una herramienta válida para identificar el conocimiento confiable que abre el camino mayor evolución tecnológica de una prótesis quirúrgica del disco espinal artificial. También mostraron cómo el análisis de conectividad ayuda a representar cómo este conocimiento difiere según la etapa de evolución tecnológica.

Por otro lado, el conocimiento científico y técnico se almacena y distribuye, tradicionalmente, a través de publicaciones (artículos de revistas, patentes, libros y otros medios de comunicación científica escrita). Por medio de la bibliometría, es decir, mediante la observación y tratamiento matemático y estadístico de los datos bibliográficos incluidos en dichas publicaciones, se llega a comprender las características y comportamiento de la ciencia y la tecnología. Así, los indicadores basados en la bibliometría constituyen la principal herramienta para analizar la actividad científica desarrollada en los diferentes países. Hay que señalar su carácter cuantitativo, aunque, a veces, se les

concede un carácter cualitativo cuando se emplea el análisis de las citas recibidas por las publicaciones. Conviene señalar, no obstante, que el único juicio considerado internacionalmente válido en la evaluación de la calidad científica es la opinión de los expertos (peer review).

Para la obtención de estos indicadores no existen guías metodológicas normalizadas y los datos proceden de fuentes externas a cada país, lo contrario que sucede con los indicadores de inversiones. Estas fuentes externas son principalmente bases de datos bibliográficas comerciales, muy especialmente el Science Citation Index (SCI), creado en el Institute for Scientific Information, de Filadelfia, EEUU, que incluye también índices de citas y factor de impacto de las revistas.

El SCI registra las referencias aportadas en los artículos científicos publicados en todas sus revistas fuente. Construye así sus índices de citas, las cuales se usan como indicador del impacto de los textos citados y de la relevancia de sus autores. En este indicador influye también el tamaño del país, por lo que hay que considerar la proporción de citas en relación con el número de trabajos publicados en el total de una región o del mundo. Por otra parte, los hábitos de citación varían mucho según los campos científicos, por lo que no se deben comparar las citas recibidas en diferentes campos. Este indicador se emplea, en general, con un enfoque cualitativo; cuanto más citado es un colectivo o una disciplina, dentro de un país, mayor calidad científica demuestra. En realidad, esto no es necesariamente así, y hay que entender que este indicador se acerca más al concepto de «visibilidad» de la ciencia que de «calidad» de la misma.

Otro indicador muy frecuentemente usado se refiere al factor de impacto (FI) de las revistas. Éste se calcula según el número de artículos publicados en un año, en relación con las citas que han recibido esos mismos artículos en los dos años siguientes a su publicación. Se utiliza como referente de calidad científica de las revistas y, por consiguiente, de los artículos publicados en ellas, pero varía enormemente entre los distintos campos científicos, ya que, en algunas áreas, como Matemáticas, el proceso de citación a los artículos se prolonga en el tiempo mucho más que en el caso de Ciencias de la Vida, por lo que el FI de las primeras será, en general, más bajo.

En el presente trabajo se analiza la tecnología de compresor scroll desde la perspectiva tecnológica y desde la perspectiva científica. Para ello se realiza la trayectoria tecnológica en base a un análisis de conectividad de redes de patentes. Además, se realiza la trayectoria científica en base a la red de artículos científicos y citas. El análisis de ambas trayectorias devela la evolución tecnológica de la tecnología scroll.

## 2. METODOLOGÍA

El presente estudio contempla el análisis de la trayectoria científica y tecnológica de la tecnología de compresores scroll, utilizados en sistemas de refrigeración y bombas de calor.

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica para determinar la trayectoria científica.

### 2.1 Trayectoria científica.

Búsqueda en la Web of Science:

La búsqueda de artículos científicos se realizó utilizando la base de datos de la Web of Science (WoS) (*Web of Science Core Collection*, n.d.). Se seleccionaron las palabras clave “scroll compressor” en la colección principal de la Web of Science. Se obtuvieron 445 artículos, excluyendo artículos de conferencias. La Figura 1 muestra los resultados obtenidos de la búsqueda bibliográfica.

The screenshot shows the Web of Science search results interface. At the top, it displays 'Web of Science' and 'Clarivate Analytics'. The search results are for 'scroll compressor' with 445 results. The interface includes a search bar, filters for 'Acceso Abierto' (43), and a list of articles. The first five articles are listed below:

Rank	Title	Journal	Volume	Pages	Year	Cited
1.	Investigation on the modifications of the suction flow passage in a scroll refrigeration compressor	APPLIED THERMAL ENGINEERING	170		2020	0
2.	Control and commissioning of a hot-gas bypass compressor load stand for testing light-commercial compressors on low-GWP refrigerants	INTERNATIONAL JOURNAL OF REFRIGERATION-REVUE INTERNATIONALE DU FROID	112	82-89	2020	0
3.	Compression chamber volume analysis for co-rotating scroll compressors	INTERNATIONAL JOURNAL OF REFRIGERATION-REVUE INTERNATIONALE DU FROID	112	172-188	2020	0
4.	Effects of injection-port angle and internal heat exchanger length in vapor injection heat pumps for electric vehicles	ENERGY	193	599-607	2020	0
5.	Influence of flank clearance on the performance of a scroll expander prototype	ENERGY	193	1076-1083	2020	0

Figura 1. Búsqueda de artículos científicos en la base de datos WoS.

Con los resultados obtenidos en la búsqueda se generó un fichero (.txt), con el registro completo y referencias citadas.

El fichero (.txt) generado se abrió desde el programa CitNetExplorer, con un número mínimo de citas de 2, debido a que con cero y uno, daba un error en el programa, como se muestra en la Figura 2.

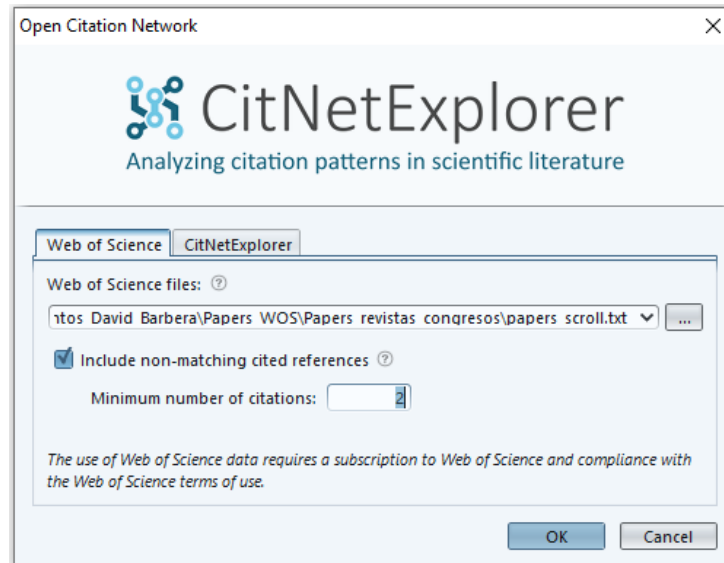


Figura 2. Interfaz del programa CitNetExplorer.

En el programa CitNetExplorer se guardó en un fichero (.net) para que pueda ser leído por el programa Pajek. En el programa Pajek se cargó el fichero .net con la red de artículos científicos. Posteriormente, se seleccionó los pesos de citación de los artículos, y se seleccionó la opción (SPNP), como se muestra en la Figura 3.

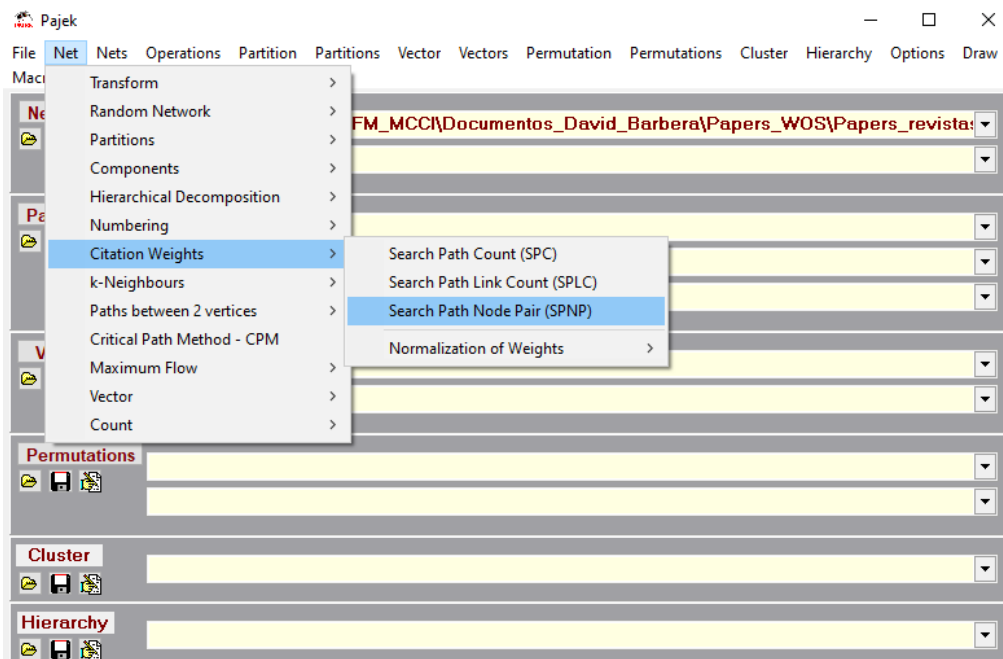


Figura 3. Generación de la red de artículos científicos en el programa Pajek.



Finalmente, se graficó la red de artículos con la opción Energy, Kamada-Kawai, free, como se muestra en la Figura 4.

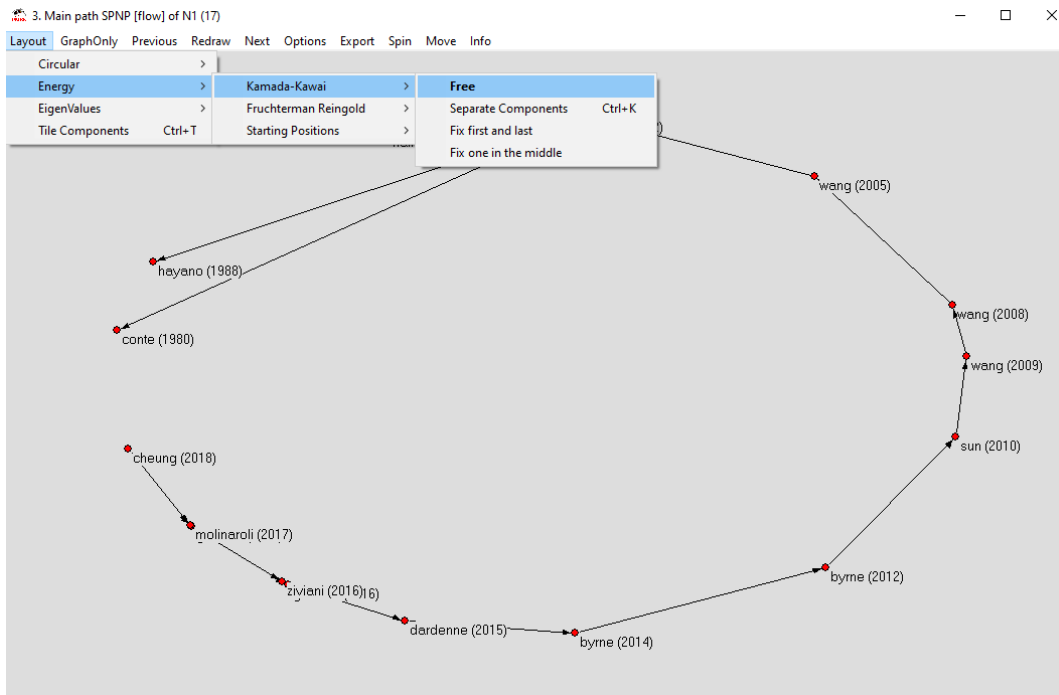


Figura 4. Gráfica de la red de artículos científicos en el programa Pajek.

## 2.2 Trayectoria tecnológica.

El estudio de la trayectoria tecnológica se realizó empleando la metodología de análisis de conectividad de las redes de citas de patentes (Barberá-Tomás et al., 2011). Esta metodología es una herramienta válida para identificar el conocimiento fiable, que abre camino a una mayor evolución tecnológica de un determinado producto o tecnología.

La metodología distingue dos rutas en la evolución tecnológica; la ruta superior de la red, que incluye una alta proporción de las patentes más importantes en la evolución tecnológica del producto o tecnología en análisis. Estas patentes contienen el conocimiento tecnológico fiable. Por otro lado, está la ruta inferior de la red, que incluye una cantidad de patentes que pueden considerarse un callejón sin salida donde la tecnología no puede seguir desarrollándose.

Las patentes se utilizan como indicadores en los estudios de innovación, pero presentan limitaciones para el estudio de la evolución tecnológica porque no siempre reflejan una de las dimensiones esenciales de la evolución tecnológica que es la aplicación y el uso. En este sentido, existen proyectos o productos cuyas patentes no se han solicitado o no se utilizan en la realidad. Algunas patentes se rechazan porque no son lo suficientemente rentables para justificar el desarrollo o la búsqueda de licenciatarios (Palomeras, 2003). En otros casos, las patentes se utilizan para objetivos estratégicos:

bloquear rivales y evitar ser bloqueados, o mejorar el poder de negociación en acuerdos de licencia cruzada (Hall & Ziedonis, 2009; Ziedonis, 2004). Por tanto, estas patentes no pueden abarcar la verdadera dimensión de la realidad para construir un modelo completo de evolución tecnológica.

Considerando que las citas de patentes ayudan a medir la importancia de diferentes patentes en la evolución tecnológica, la metodología de análisis de conectividad de redes de citas de patentes, propone el uso de citas para producir un secuencia de patentes con las que rastrear la evolución tecnológica (Fontana et al., 2009). Sin embargo, esta metodología requiere de una validación externa de citación de patentes. Barberá-Tomás et al. (2011) propone una validación interna y una validación externa. La validación interna consiste en fundamentar el papel hipotético de las medidas basadas en patentes y citas como indicadores del impacto tecnológico mediante el examen de patrones y relaciones totalmente dentro de los datos de patentes mismos. La validación externa corrobora el significado de los datos relacionados con patentes al correlacionar las medidas basadas en patentes con indicadores tecnológicos o económicos independientes cuyo significado es más evidente.

Barberá-Tomás et al. (2011) encontraron que el análisis de conectividad es una herramienta válida para identificar el conocimiento confiable que abre el camino a una mayor evolución tecnológica de las redes de citas de una prótesis quirúrgica, el disco espinal artificial. También ilustraron cómo el análisis de conectividad representa cómo este conocimiento confiable difiere según la etapa de evolución tecnológica. La validez corroborada del análisis de conectividad de las citas de patentes puede desencadenar un renacimiento en el uso de este tipo de datos de patentes. La Figura 5 muestra una red de la evolución de las rutas superiores de patentes para el análisis de las prótesis de disco espinal.

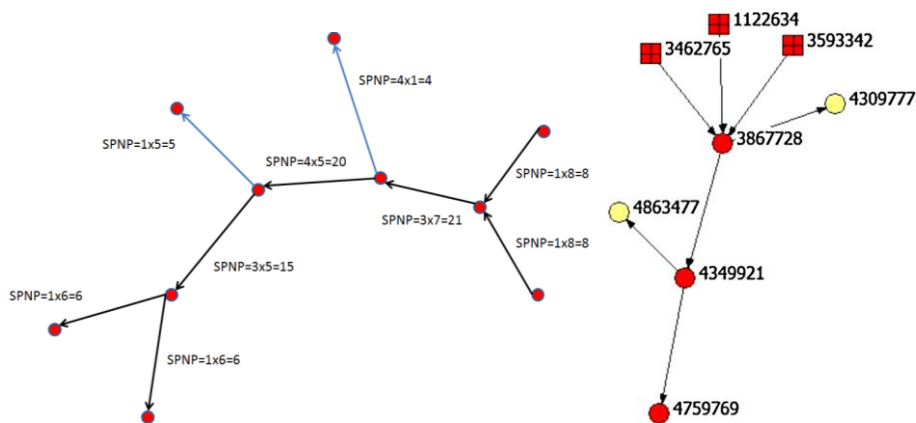


Figura 5. Ejemplo de red de la evolución de las rutas superiores de patentes (NETP) (Barberá-Tomás et al., 2011)

En el presente estudio se utilizan citas de patentes para estudiar la evolución tecnológica del compresor scroll empleado en sistemas de refrigeración y bombas de calor.

Búsqueda de patentes en la base de datos de la USPTO:

La búsqueda de patentes se realizó utilizando la base de datos de la United States Patent and Trademark Office (USPTO) (*Patents / USPTO*, n.d.). Se seleccionaron las palabras clave “scroll compressor”. Se obtuvieron 2446 patentes. Los resultados de la búsqueda fueron exportados en un archivo (\*.xls) para luego ser convertido en un fichero de Pajek (.net). En el programa Pajek se cargó el fichero .net con la red de patentes. Posteriormente, se seleccionó los pesos de citación de las patentes, y se seleccionó la opción (SPNP), como se muestra en la Figura 6.

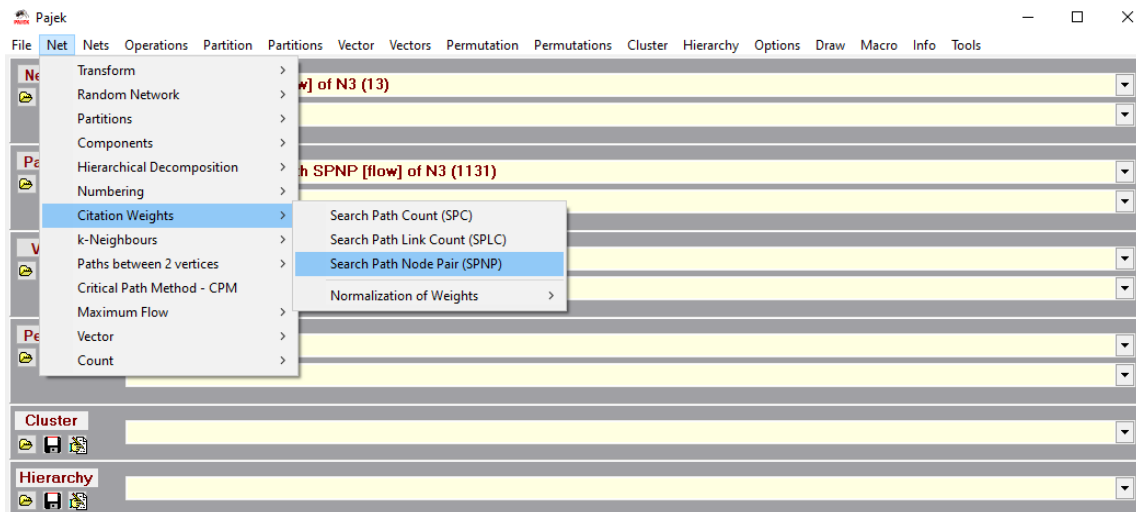


Figura 6. Generación de la red de patentes en el programa Pajek.

Finalmente, se graficó la red de artículos con la opción Energy, Kamada-Kawai, free, como se muestra en la Figura 7.

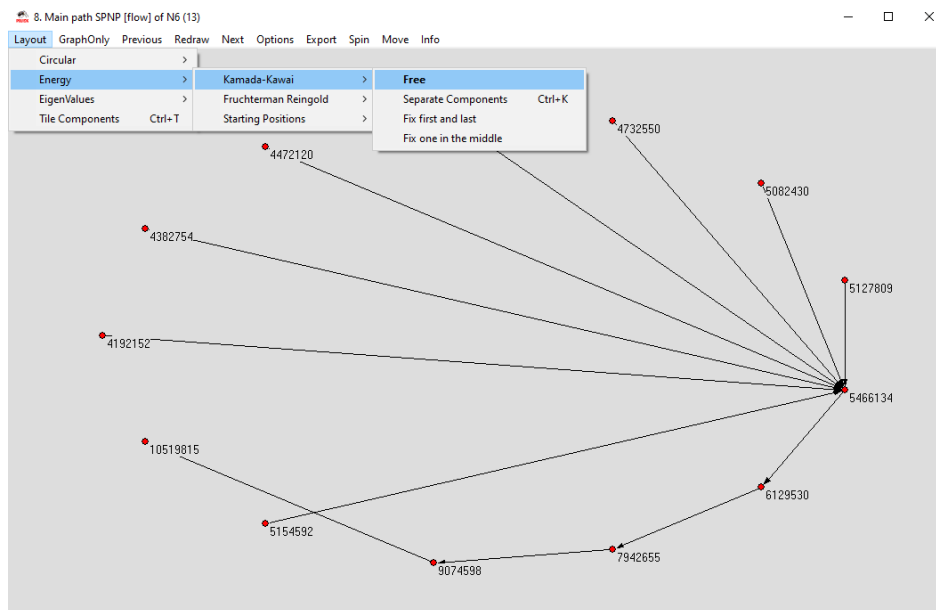


Figura 7. Gráfica de la red de patentes en el programa Pajek.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Análisis de la trayectoria científica.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el resultado de la búsqueda en la base de datos de la WoS fue de 445 artículos científicos, excluyendo artículos de conferencias. El listado de referencias se abrió desde el programa CitNetExplorer, con un número mínimo de citas de 2, el resultado se muestra en la Figura 3. Se debe notar que en la cima de la pirámide se encuentra la referencia (Creux), que corresponde a la patente de creación del compresor scroll en el año de 1905. De ahí se desprenden los estudios de la parte baja de la figura.

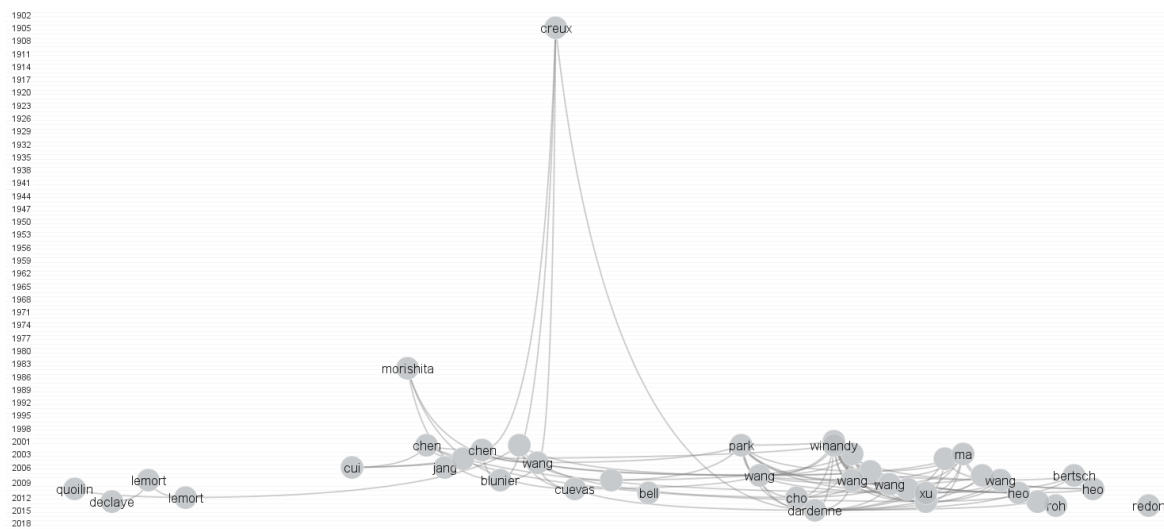


Figura 8. Resultados de la base de datos sobre compresores scroll abierto en CitNetExplorer.

El resultado de la generación de la red de artículos científicos es una trayectoria de 15 artículos, mínimo número de citas por defecto (10), como se muestra en la Figura 9.

El compresor scroll fue inventado por Creux (1905), y no fue hasta la década de los 80 que su comercialización fue extendida en aplicaciones de automóviles y aire acondicionado, especialmente en Japón. El compresor scroll apareció en el mercado en 1981. Los desafíos tecnológicos más importantes que se tuvieron que superar son el sellado axial y radial de los scrolls, lo cual implica tener una disponibilidad de maquinaria adecuada para conseguir un mecanizado de los scrolls con una alta precisión. El compresor scroll tiene ventajas inherentes (buen sellado, funcionamiento suave, ausencia de válvula, estructura simple, baja velocidad de rozamiento, etc.).

Hasta el año 1984, el movimiento de la voluta móvil y el acoplamiento de Oldham no se había estudiado de manera sistemática. Morishita et al. (1984) (de Mitsubishi Electric Corporation) estudió el compresor scroll a través de modelos geométricos que permitieron calcular el volumen desplazado

del compresor, calcular las componentes de presión axial, tangencial y radial, las cuales fueron obtenidas asumiendo los procesos isentrópicos o politrópicos; además, se calculó el movimiento de la espiral móvil y el acoplamiento de Oldham. El movimiento de la espiral móvil está influenciado por la fuerza de inercia del acoplamiento Oldham, y la fuerza de sellado radial cambia con una frecuencia dos veces mayor que la de la rotación.

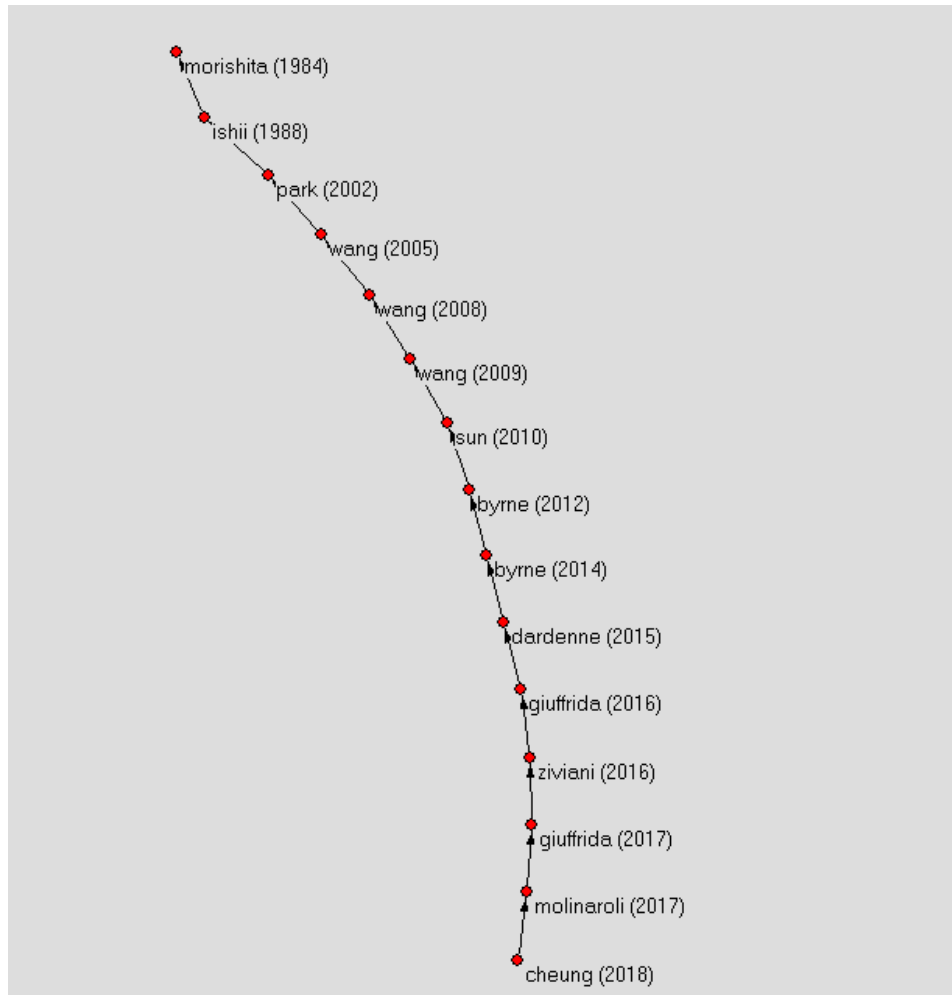


Figura 9. Trayectoria científica de la tecnología de compresores scroll.

La Figura 10 muestra los parámetros geométricos utilizados en el modelo del compresor scroll. Morishita estimó el momento de vuelco que actúa sobre la espiral móvil y aclaró la condición de estabilidad de la espiral móvil. Su estudio intentó aclarar las condiciones de diseño respecto al movimiento de la espiral móvil y el acoplamiento de Oldham que hasta ese momento no se había estudiado en profundidad.

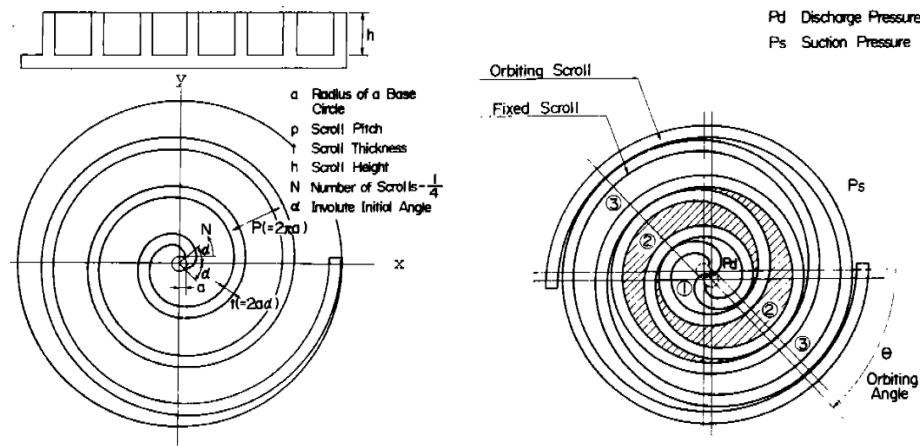


Figura 10. Parámetros geométricos del modelo de compresor scroll (Morishita et al., 1984).

Desde que los equipos de aire acondicionado se ocupan en espacios pequeños, la vibración y el ruido generado por el compresor durante la operación estacionaria debió ser minimizada. Hacia 1976, los compresores convencionales utilizados en acondicionadores de aire fueron los de tipo recíprocante (pistones). Sin embargo, en la década de los 80, el compresor rotativo de un pistón se volvió común en la mayoría de los aires acondicionados de baja capacidad. La razón más importante del reemplazo de los compresores recíprocantes por los rotativos fue por su alta eficiencia mecánica y volumétrica y su compacto y liviano diseño. Sin embargo, la generación de ruido y vibraciones del compresor rotativo fue suficientemente reducido hasta esa época para satisfacer los estrictos requerimientos de los usuarios. Una de las alternativas para superar estos desafíos fue un nuevo mecanismo de compresión, el compresor scroll, que al tener varias cámaras de compresión que son simultáneamente comprimidas a bajas velocidades permite aliviar considerablemente los problemas de vibración del compresor. Un factor importante fue estudiar hasta qué punto la introducción del compresor scroll puede aliviar los problemas de vibraciones.

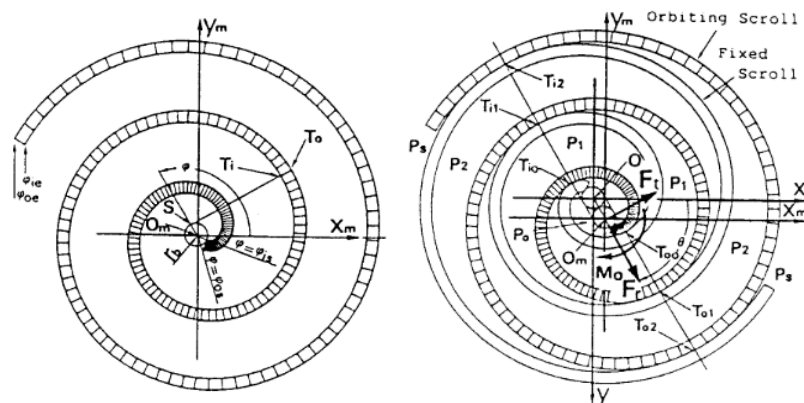


Figura 11. Configuración de las espirales del compresor scroll (Ishii et al., 1988).

En ese contexto, Ishii et al. (1988) (uno de los autores de Panasonic) presentó un método analítico que revela el comportamiento dinámico del compresor scroll de pequeña capacidad y se comparó con un compresor rotativo de un pistón de la misma capacidad, concluyendo que el compresor scroll es una máquina bien balanceada con bajos niveles de vibración, sin embargo, el compresor scroll presentó eficiencias mecánicas más bajas que el compresor rotativo. La Figura 11 muestra las volutas del compresor scroll estudiadas por Ishii.

A inicios de los 2000, la mayoría de las bombas de calor y aires acondicionados usan compresores scroll. Hasta esa época, Los principales problemas de estudios anteriores sobre compresores scroll se centraron en la mejora del rendimiento mediante el empleo de nuevas tecnologías. Una de las tecnologías avanzadas para la conservación de energía en un compresor es el uso de un motor de velocidad variable. La inyección de refrigerante es otra tecnología que se puede utilizar para mejorar el rendimiento y la confiabilidad de un compresor en altas relaciones de compresión asociadas con bajas temperaturas exteriores. La eficiencia de un compresor de velocidad variable con inyección de refrigerante depende también de las condiciones ambientales y de la frecuencia del compresor. Por lo tanto, un análisis de pérdidas de un compresor de velocidad variable con inyección de refrigerante debe incluir los efectos de la frecuencia del compresor en el rendimiento.

Las investigaciones sobre el estudio numérico del compresor scroll se pueden clasificar en análisis dinámico de conformidades axiales y radiales y análisis termodinámico para procesos de succión y compresión. Como se mencionó Morishita et al. (1984) e Ishii et al. (1988) estudiaron una teoría dinámica y de diseño que incluye aspectos geométricos de un compresor scroll. Tojo et al. (1986) investigaron la variación del rendimiento del compresor con un mecanismo de contrapresión autoajutable para una distensibilidad axial. Nieter (1988) analizó el proceso de succión utilizando un modelo dinámico. Hayano et al. (1988) llevaron a cabo tanto experimentos como análisis numéricos sobre las pérdidas resultantes de la fricción, la compresión y las fugas. Informaron que la mayor parte de la pérdida por fricción se debió al contacto entre el cojinete y el eje, y también entre la espiral fija y la móvil. El funcionamiento de un compresor scroll a altas velocidades bajo temperaturas ambiente bajas puede provocar una temperatura de descarga excesivamente alta y también una mayor entrada de potencia del compresor. Los estudios previos sobre la técnica de inyección se enfocaron en disminuir la temperatura de descarga, así como en reducir la entrada de potencia del compresor. Afjei et al. (1992) investigaron el rendimiento de un compresor scroll impulsado por inversor con inyección de líquido a diferentes calidades de vapor de succión y velocidades del compresor. Ayub et al. (1992) estudiaron la reducción de la temperatura de descarga a altas relaciones de compresión aplicando la técnica de inyección de líquido en un compresor scroll. Dutta et al. (2001) estudiaron el rendimiento de un compresor scroll de inyección a una velocidad constante teniendo en cuenta la transferencia de calor entre la pared del cilindro y el refrigerante. Hasta ese momento los estudios de simulación se centraron en un compresor de velocidad constante.

Entonces, fue necesario contar con un modelo de simulación adecuado para el compresor de velocidad variable con inyección de refrigerante para proporcionar datos de diseño apropiados en función de la frecuencia del compresor y los parámetros de inyección. En ese contexto, Park et al. (2002) desarrollaron un modelo termodinámico para un compresor scroll de velocidad variable con inyección de refrigerante utilizando continuidad, conservación de energía y ecuación de gas real. El modelo incluyó el balance de energía en el compresor de carcasa de baja presión, calentamiento del gas de succión, eficiencia del motor y eficiencia volumétrica considerando las fugas de gas en función de la frecuencia del compresor. El modelo desarrollado se verificó comparando los resultados previstos para la condición de no inyección con los datos experimentales. Las desviaciones de los valores predichos de los medidos estuvieron dentro del 10% para aproximadamente el 90% de los datos experimentales. Con base en el modelo, se estimaron y analizaron el caudal másico, el calentamiento del gas de succión, la capacidad de enfriamiento y el consumo de energía del compresor en función de la frecuencia. Los efectos de la inyección de refrigerante en el rendimiento del compresor también se discutieron en función de la frecuencia, las condiciones de inyección y la geometría de la inyección. El calentamiento del gas de succión provocó una reducción en la pendiente del flujo másico de refrigerante frente a la característica de frecuencia, lo que resultó en una disminución de la eficiencia volumétrica. A medida que aumentó la frecuencia, las fugas durante el proceso de compresión se redujeron y luego el proceso se acercó más a la compresión adiabática. El compresor de inyección mostró un aumento muy pequeño de la potencia del compresor sobre el caso sin inyección, pero produjo una reducción significativa de la temperatura de descarga en todas las frecuencias. La temperatura de descarga disminuyó con un aumento del diámetro de inyección debido a un aumento de la relación de inyección, pero el aumento por encima de un diámetro óptimo provocó una rápida reducción del COP normalizado. Además, los efectos de la ubicación de la inyección sobre la temperatura de descarga y el COP fueron muy pequeños.

En las investigaciones descritas hasta ahora, sobre áreas de fuga, las áreas de fuga siempre se dividen en dos tipos, flanco y radial, y se supone que las áreas de fuga hacia adentro y hacia afuera son las mismas. En realidad, las áreas de fuga son bastante diferentes de las áreas de fuga para todo el proceso de trabajo. Al mismo tiempo, estos modelos descritos solo tratan las áreas de fuga en el proceso de compresión y la fuga en el proceso de succión y el proceso de descarga debe calcularse utilizando otros métodos o tratarse como un proceso ideal (no hay pérdida de presión de succión / descarga en el proceso de succión / descarga), lo que conduce al aumento de la complejidad en el cálculo de fugas. En resumen, los modelos de compresor scroll disponibles en esa época se restringían en su mayoría a ángulos iniciales especiales de las volutas y configuran respectivamente los modelos de procesos de succión, compresión y descarga (los tres procesos comienzan desde cero), lo que conduce a dificultades en la aplicación práctica de estos modelos. En ese contexto, Wang et al. (2005) desarrolló un modelo geométrico general de compresores scroll. Las expresiones geométricas de los



scrolls, incluido el arco de interacción, del ángulo de la espira con el ángulo inicial discrecional de espira se adelanta. En base a ello, se estableció una nueva fórmula de cálculo para el volumen de la cámara de trabajo, que no se limita a ángulos especiales iniciales de espiras y da la expresión del volumen durante todos los procesos de succión, compresión y descarga en un estilo de función general de subsección. También se desarrolló un modelo de área de fuga, que incluye flanco hacia adentro, flanco hacia afuera, radial hacia adentro y hacia afuera, basado en la condición de ángulos iniciales discretos. Este modelo no está restringido por ángulo inicial de espira e incluye todos los períodos de succión, compresión y descarga en forma de función de subsección, lo que proporciona una base para la simulación del compresor scroll y visualización dinámica del proceso de trabajo del compresor scroll.

En base al modelo geométrico de compresores scroll de Wang (2005), Wang et al. (2008) avanzó en el análisis de compresores scroll con inyección de refrigerante. Hay que resaltar que las tecnologías de inyección de refrigeración en el compresor scroll se desarrollaron rápidamente en la década del 2000. Para sistemas de refrigeración o bomba de calor con una temperatura de evaporación baja o una temperatura de condensación alta, la inyección de refrigerante puede aumentar la capacidad y la eficiencia del rendimiento del sistema o disminuir en gran medida la temperatura de descarga del compresor para mantenerlo funcionando en una región segura de su mapa de trabajo. La inyección de vapor de refrigerante se utiliza principalmente en el sistema de compresor centrífugo multietapa. El gas refrigerante que se drena del tanque flash entra en el área coclear del compresor y se mezcla con el refrigerante del tubo de succión bajo presión constante, por lo que el proceso de inyección puede considerarse como un proceso de mezcla isobárica. Pero para el compresor de tornillo o el compresor scroll, el proceso de inyección es más complicado debido a la variación continua de presión en la cámara de compresión durante la inyección.

Según el estado del refrigerante inyectado, la inyección de refrigerante se puede dividir en inyección de líquido (Ayub et al., 1992; Dutta et al., 2001) e inyección de vapor (Winandy & Lebrun, 2002; Park et al., 2002; Guoyuan et al., 2003) (el sistema de inyección de vapor también se denomina sistema con economizador). En investigaciones experimentales anteriores sobre la inyección de refrigerante en un compresor scroll, la mayoría de los experimentos probaron los efectos de varios parámetros, como la ubicación de la inyección, el área del puerto de inyección o la presión intermedia, sobre el rendimiento general del sistema de refrigeración, como COP, EER y capacidad calorífica. Este tipo de experimentos puede proporcionar al investigador la comprensión general sobre la inyección de refrigerante y puede utilizarse para supervisar el diseño del sistema de inyección específico. Pero la influencia de la inyección en el compresor y su proceso de compresión interno no se mide, por lo que este tipo de investigación no puede descubrir la esencia termodinámica de la inyección de refrigerante y tampoco podría proporcionar instrucciones teóricas para la optimización del compresor y sistema de inyección general. Solo unos pocos investigadores (Dutta

et al., 2001) intentaron medir la influencia de la inyección de refrigerante en el proceso de compresión. Pero debido a la limitación del espacio y del sensor, los experimentos sobre el proceso de compresión del compresor scroll inyectado son muy costosos y requieren mucho tiempo y solo pueden usarse para estudiar los efectos de varios factores específicos en el sistema de inyección.

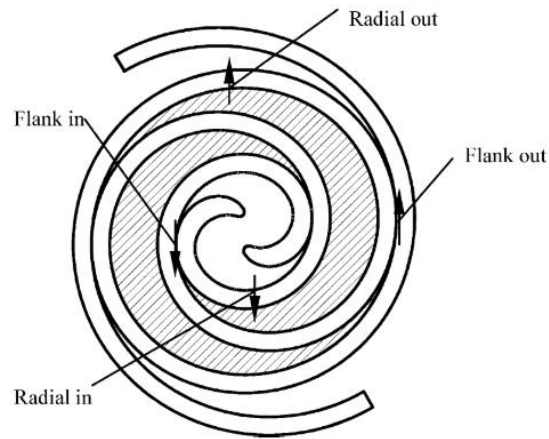


Figura 12. Esquema de los cuatro tipos de fugas en el compresor scroll (B. Wang et al., 2005).

La simulación es otro método de investigación para el compresor scroll con inyección de refrigerante. Hasta el 2005, la mayoría de los modelos propuestos de compresor scroll utilizados en la simulación del sistema de refrigeración son modelos de parámetros agrupados (Ayub et al., 1992; Ma & Chai, 2004; E. L. Winandy & Lebrun, 2002), que no se pueden utilizar en la simulación del sistema con inyección de refrigerante. Otro tipo de modelo de compresor scroll (Chen et al., 2002) consideró la transferencia de calor detallada entre todos los componentes del compresor, que se utiliza habitualmente en el diseño del compresor y no es adecuado en el modelado del sistema de inyección ya que gasta demasiado tiempo. La investigación de las inyecciones necesita un modelo ecléctico. Dutta et al. (2001) presentó un modelo de compresor scroll con inyección de refrigerante líquido, que puede usarse para simular el proceso de compresión húmeda. Park et al. (2002) proporcionó un modelo de compresor scroll simple, que se aplica para pronosticar el rendimiento del compresor inverter con inyección de refrigerante líquido. Ambos modelos solo consideraron el proceso de compresión, lo que llevó a pasar por alto algunos fenómenos importantes en el proceso de succión y descarga, como los fenómenos de precompresión y sobrecompresión. En ese contexto, Wang et al. (2008) desarrolló un modelo general, desde la succión hasta la descarga, de compresores scroll y validarlo mediante experimentos (ver Figura 13). Basándose en el modelo y los resultados de las pruebas, los autores intentaron descubrir la esencia termodinámica del proceso de inyección en compresores scroll. El modelo se puede utilizar para predecir el rendimiento general y el proceso de compresión interna del compresor scroll con inyección de vapor. Se llevaron a cabo una serie de experimentos para validar la precisión del modelo. Como resultado, se encuentra que el modelo

puede predecir satisfactoriamente tanto el rendimiento del macrocompresor como la compresión interna del compresor con o sin inyección de refrigerante. Después de eso, el modelo se simplificó de acuerdo con el análisis de parámetros. Sobre la base de simulaciones y experimentos, se investigaron las características termodinámicas en el proceso de inyección de refrigerante del compresor scroll. Como resultado, se encuentra que el proceso de inyección de refrigerante se puede considerar como un proceso de variación en el tiempo de "estrangulamiento adiabático + mezcla isobárica" de parámetros continuos.

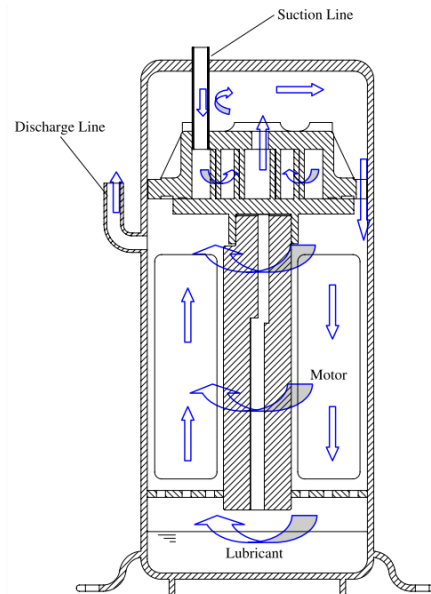


Figura 13. Esquema general del modelo de compresor scroll (B. Wang et al., 2008).

A finales de los 2000, la técnica de inyección de vapor de refrigerante está bien justificada para mejorar el rendimiento de los sistemas en aplicaciones de refrigeración. Sin embargo, no ha recibido mucha atención para aplicaciones de aire acondicionado, particularmente para aire acondicionado en climas cálidos y para bombeo de calor en climas fríos. X. Wang et al. (2009) investigó experimentalmente el rendimiento de un sistema de bomba de calor R410A de 11 kW con un compresor scroll de dos etapas con inyección de vapor. El compresor scroll con inyección de vapor se probó con las opciones de ciclo de las configuraciones de tanque flash (FTC) e intercambiador de calor interno (IHXC) (economizador). La Figura 14 muestra los bancos experimentales utilizados para las dos configuraciones del sistema.

El IHXC tiene un rango de funcionamiento más amplio de la presión de inyección que el del FTC debido a su libertad de establecer el recalentamiento del refrigerante inyectado en el puerto de inyección. En general, el IHXC y la FTC muestran una mejora de rendimiento comparable en comparación con el sistema base (con un compresor sin inyección de vapor). La ganancia máxima de capacidad de enfriamiento es del 15% con una ganancia de COP del 2% a una temperatura

ambiente de 46,1 °C. La mejora máxima del COP es 2~4% dependiendo de las condiciones ambientales, lo que significa que la inyección de vapor afecta casi por igual la capacidad y el consumo de energía. La ganancia de capacidad de calentamiento varía del 13% al 33% a medida que la temperatura ambiente desciende de 16,7 °C a -17,8 °C. La máxima mejora de COP, 23%, se logra mediante el FTC a la temperatura ambiente de -17,8°C. Para el IHXC, el control simple y efectivo es usar una válvula de expansión termostática (TXV) en la línea de inyección y el lazo principal. Para el FTC, requiere una TXV mayor en la entrada del evaporador que la utilizada en el IHXC.

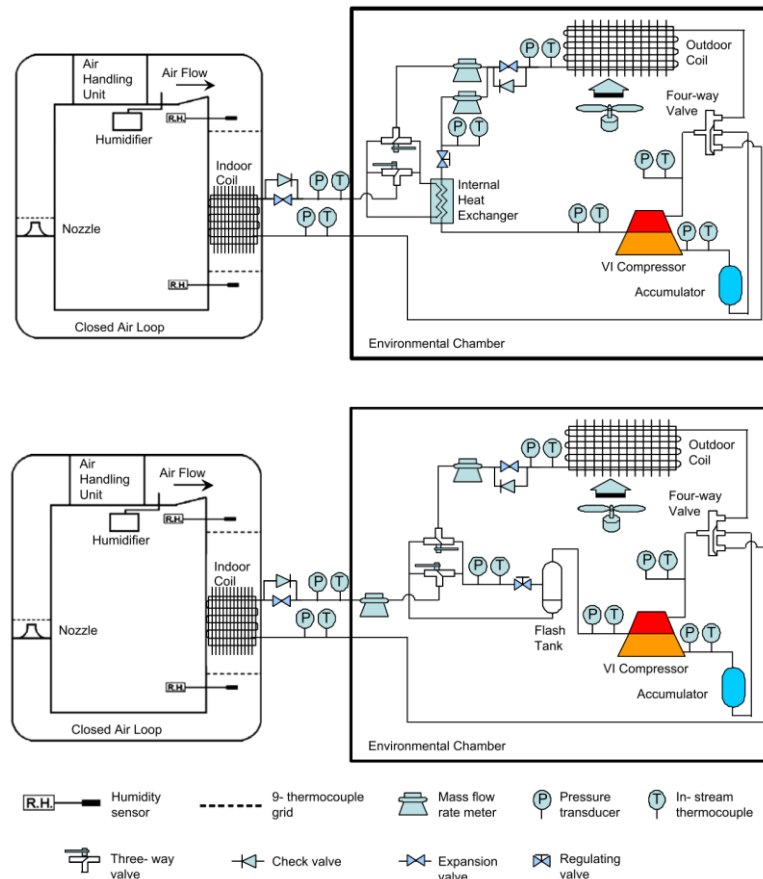


Figura 14. Esquema de los sistemas con inyección de vapor utilizando economizador y tanque flash (X. Wang et al., 2009).

El compresor consume la mayor parte de la energía en los sistemas de refrigeración. Por lo tanto, la eficiencia del compresor es muy importante para el sistema de refrigeración de alta eficiencia. Es fundamental encontrar formas de reducir el consumo de energía durante el proceso de compresión en el compresor. El consumo de energía es el mínimo cuando el gas (refrigerante) se comprime en condiciones isotérmicas. Para los compresores de refrigeración, el proceso de compresión puede aproximarse al proceso isotérmico cuando la cámara de trabajo se enfría adecuadamente. Hay dos tipos principales de métodos para enfriar la cámara de trabajo. Un método es el enfriamiento interno, en donde refrigerante o aceite es inyectado en la cámara de trabajo para enfriar el gas directamente.

Como ya se ha descrito en las investigaciones previas, la inyección de refrigerante puede reducir la temperatura de descarga y mejorar la confiabilidad del sistema de refrigeración. Tanto la inyección de refrigerante líquido como de vapor aumentan el COP del sistema y el trabajo de compresión ya que se comprime una cantidad extra de refrigerante, lo que requiere un trabajo de compresión adicional. La inyección de aceite se aplica ampliamente en compresores de aire. Puede reducir el trabajo de compresión y disminuir la temperatura de descarga de manera efectiva.

El otro método es el enfriamiento externo. El aire, el aceite, el agua e incluso el refrigerante pueden fluir a través de la superficie exterior de la cámara de trabajo del compresor de refrigeración para enfriar el gas comprimido. El enfriador intermedio, la cámara de enfriamiento y las aletas se pueden utilizar para enfriar el compresor. Todos ellos han sido aplicados en grandes compresores de aire alternativos y han obtenido un excelente efecto en el ahorro de energía. Sin embargo, hasta finales de los 2000 se ha trabajado poco sobre el efecto del enfriamiento externo en el rendimiento del compresor de refrigerante. Debido a que los compresores de refrigerante tienen un volumen pequeño, una estructura complicada y una alta velocidad de rotación, las estructuras de enfriamiento externas serán muy complicadas y el calor de compresión no podría transferirse fácilmente a través de la estructura de enfriamiento externa. Sin embargo, el enfriamiento externo es una forma de lograr el proceso isotérmico aproximado. X. Wang et al. (2008) investigaron dos casos de procesos de compresión con compresión parcialmente isotérmica y los resultados mostraron que la potencia de compresión del sistema se puede reducir hasta en un 16%; Además, el autor propuso una estructura de enfriamiento externo, pero no la estudió en el artículo. Ooi & Zhu (2004) desarrollaron un modelo bidimensional para estudiar el flujo de fluido y la transferencia de calor en la cámara de trabajo del compresor scroll. Los resultados mostraron que el coeficiente de transferencia de calor promedio predicho por el modelo fue más alto que la mayoría de los predichos por correlaciones empíricas. Por lo tanto, la refrigeración externa puede tener algunos beneficios para mejorar el rendimiento del compresor. En este contexto, Sun et al. (2010) propuso una estructura de enfriamiento especial para el compresor de refrigeración scroll y estableció un modelo matemático del compresor. Utilizando el modelo de simulación, se investigó el efecto de la estructura de enfriamiento en el rendimiento del compresor scroll. Los autores presentaron el proceso de transferencia de calor entre el refrigerante y la cámara de trabajo y analizaron la influencia de la temperatura del agua de enfriamiento, la dimensión de la estructura de enfriamiento, el espacio libre de fugas, la velocidad de rotación y la relación de presión en el rendimiento del compresor. Los resultados proporcionaron una buena guía para diseñar un compresor de refrigeración scroll de alto rendimiento con estructura de refrigeración externa. La Figura 15 muestra la estructura del modelo de compresor scroll y la estructura de enfriamiento.

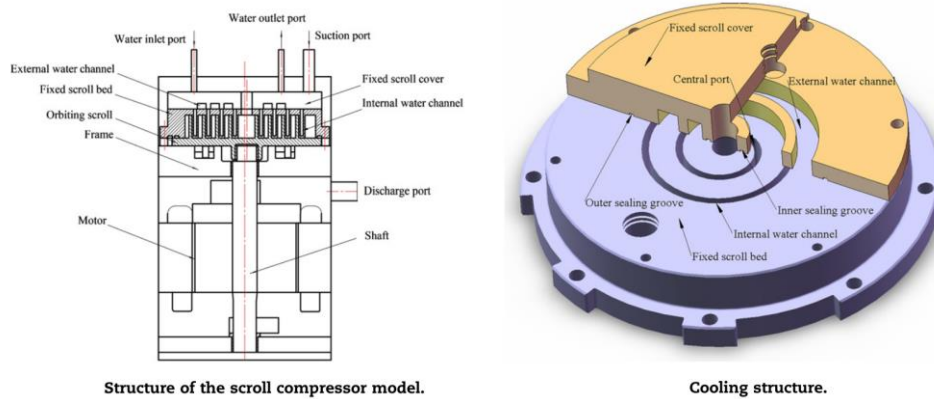


Figura 15. Esquema del modelo de compresor scroll y estructura de enfriamiento (Sun et al., 2010).

Desde hace dos décadas se han intensificado los esfuerzos por incrementar la eficiencia de los sistemas de calefacción y refrigeración para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El rendimiento térmico de los edificios mejora continuamente gracias a las regulaciones térmicas. Además, los requisitos de comodidad exigen cada vez más energía. Una envolvente térmica más aislada implica también que los nuevos edificios necesitan menos energía para calefacción y más para refrigeración. Por tanto, las necesidades térmicas de los nuevos edificios están más equilibradas entre calefacción y refrigeración durante el año.

Durante el invierno, la energía se demanda exclusivamente para la calefacción de espacios y la producción de ACS. Entre invierno y verano, algunos edificios pueden exigir simultáneamente refrigeración en habitaciones orientadas al sur y calefacción en habitaciones orientadas al norte. Durante el verano, se necesita energía para la producción de ACS y la refrigeración del espacio al mismo tiempo. Una respuesta a una demanda de energía dual es la bomba de calor, ya que suministra simultáneamente una capacidad de calefacción en el condensador y una capacidad de refrigeración en el evaporador.

En este contexto, las investigaciones sobre compresores scroll se volcaron a su aplicación en bombas de calor. (Byrne et al., 2012) utilizó un compresor scroll en el desarrollo de un prototipo de bomba de calor que puede satisfacer necesidades fluctuantes, simultáneas o no, en calefacción y refrigeración. La bomba de calor se denomina HPS (Bomba de calor para calefacción y refrigeración simultáneas) y se puede instalar en hoteles donde las demandas de ACS son elevadas y en edificios con fachada de cristal donde las necesidades simultáneas de calefacción y refrigeración de espacios son más frecuentes. Uno de los objetivos del estudio fue producir, con la mayor frecuencia posible, calor y frío utilizando la misma entrada de energía en el compresor. Otro objetivo fue limitar la pérdida de rendimiento de las bombas de calor de fuente de aire durante el invierno debido a las bajas temperaturas del aire y las heladas. Se realizaron modelos de la bomba de calor que fueron validados con datos experimentales de ensayos llevados a cabo en un prototipo HPS con R407C como

refrigerante. Por último, se realizaron simulaciones anuales utilizando datos meteorológicos de tres ciudades de Europa. La Figura 16 muestra el circuito de la bomba de calor utilizada en los experimentos.

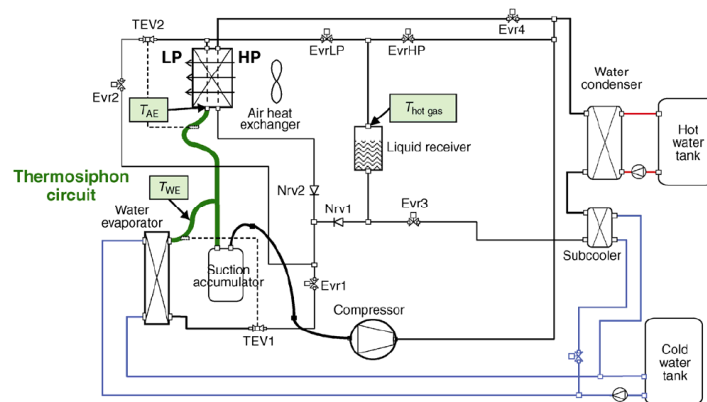


Figura 16. Circuito de la bomba de calor HPS utilizando un compresor scroll (Byrne et al., 2012).

Otro aspecto importante en el funcionamiento de los compresores es el refrigerante. Los hidrocarburos se consideran en la actualidad como alternativas prometedoras a los hidrofluorocarbonos gracias a su bajo impacto ambiental y su fácil implementación. Sin embargo, se deben tomar algunas precauciones para frustrar su inflamabilidad. Las normativas europeas imponen tomar medidas estrictas con respecto a los componentes e instalar bombas de calor en espacios desocupados. En este contexto, Byrne et al. (2014) detalló los principales problemas relacionados con el uso de hidrocarburos como refrigerantes y revisó los estudios de modelado de compresores scroll. Los autores presentaron el desarrollo de un modelo de compresor scroll termodinámicamente realista para evaluar el desempeño de los compresores scroll. Inicialmente, el modelo se desarrolló para un compresor scroll trabajando con R407C y se validó utilizando resultados experimentales. Luego, el modelo se adaptó a los refrigerantes R290 (propano), R600a (isobutano) y R1270 (propileno o también llamado propeno). Se llevó a cabo una comparación de simulación para evaluar el caudal másico y las discrepancias de potencia de entrada y las diferencias de temperatura de descarga entre el R407C y los hidrocarburos. Finalmente, se aplicó un procedimiento de adaptación al modelo para hacer frente a un cambio en el tamaño del compresor. En este estudio se discutió las cuestiones relativas a la implementación de un compresor scroll en lugar de un compresor alternativo a este nuevo prototipo de HPS que trabaja con un hidrocarburo. Los compresores scroll están bien adaptados a las aplicaciones de producción simultánea de calefacción y refrigeración de espacios y muestran mayores eficiencias, bajas variaciones de par, bajo nivel de ruido, confiabilidad y tolerancia a las gotas de refrigerante. La Figura 17 muestra un esquema de las transformaciones del refrigerante a través del compresor scroll contempladas en el modelo de Bryne. Este modelo se basó en el modelo semiempírico de compresores scroll propuesto por E. Winandy et al. (2002).

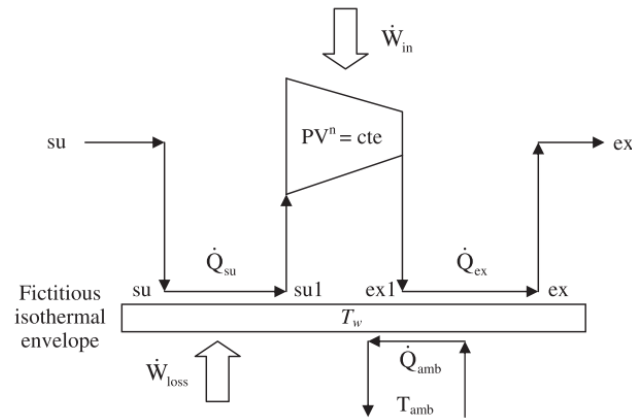


Figura 17. Transformaciones del refrigerante a través del compresor scroll (Byrne et al., 2014).

En la década pasada, los compresores scroll de inyección de vapor ganaron atención en los sistemas de compresión de vapor, especialmente en aplicaciones de calefacción de alta temperatura, debido a las ventajas que brindan. Los modelos propuestos de este tipo de compresores son principalmente modelos deterministas, que requieren una descripción detallada de la geometría del compresor y permiten, a su vez, calcular minuciosamente el estado del refrigerante en función del ángulo de giro. Los modelos semi-empíricos se proponen en gran medida para los compresores scroll estándar con el fin de calcular con precisión el rendimiento del compresor sin la necesidad de conocer las características geométricas del compresor. Otro factor importante es la variación de velocidad del compresor por temas de ajuste del funcionamiento del compresor a la demanda energética del sistema. En ese contexto, Dardenne et al. (2015) presentó y validó experimentalmente un modelo semi-empírico de un compresor scroll de velocidad variable con inyección de vapor. El modelo se basa en el trabajo de E. L. Winandy & Lebrun, (2002). Al ser un modelo termodinámico, no se requiere un conocimiento detallado de la geometría del compresor, pero se necesitan 10 parámetros para modelar el proceso que experimenta el refrigerante desde los puertos de succión e inyección hasta el puerto de descarga. Los parámetros del modelo se identifican mediante un procedimiento de ajuste que minimiza el error relativo entre los datos experimentales y calculados. El modelo calcula los caudales másicos del refrigerante de succión e inyección, la potencia eléctrica del compresor y la temperatura del refrigerante en la descarga del compresor una vez que se conocen las condiciones de trabajo del compresor y los parámetros del modelo. La figura 18 muestra un esquema del modelo de compresor scroll con inyección de vapor y velocidad variable.



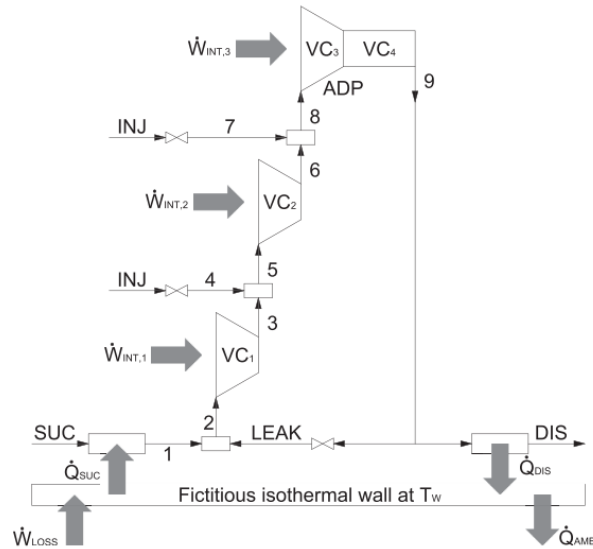


Figura 18. Esquema del modelo de compresor scroll con inyección de vapor y velocidad variable (Dardenne et al., 2015).

En los últimos años, la tecnología scroll ha tomado gran importancia en dos frentes. Primero, en la aplicación como expansores para ciclos Rankine orgánicos y por otro lado, los modelos semiempíricos desarrollados para compresores scroll han servido como base para el modelado de otras tecnologías de compresores, como los compresores de tornillo (Giuffrida, 2016) y los compresores rotativos de pistones (Molinaroli et al., 2017) y también de expansores como los expansores de tornillo (Ziviani et al., 2016) (Giuffrida, 2017).

Finalmente, los últimos estudios sobre la tecnología de compresores scroll se han desarrollado sobre la evaluación de modelos empíricos para la estimación del rendimiento del compresor bajo varias condiciones de funcionamiento que no fueron consideradas para la determinación de los polinomios del mapa de operación del compresor (Cheung et al., 2018).

En la Figura 19 se muestra el análisis de la trayectoria científica de los compresores scroll. Hasta el 2000 los análisis se centraron en el estudio de conformidades axial y radial del compresor utilizando modelos geométricos con validación experimental. En la década del 2000 al 2010, los estudios se enfocaron en el rendimiento de compresores scroll con inyección de vapor, utilizando modelos geométricos detallados de las espirales del compresor, con validación experimental. Del 2010 al 2015, se utilizaron modelos semi-empíricos por su facilidad de implementación con modelos de sistemas como bombas de calor y circuitos frigoríficos. Se analizó el uso de refrigerantes naturales, mejoras del rendimiento del sistema con inyección de vapor, velocidad variable, con validación experimental. Del 2016 al 2017 se estudió la tecnología scroll para aplicaciones de expansores en aplicaciones de ciclos orgánicos Rankine y como base para el modelado de otras tecnologías de compresor como compresores de tornillo y rotativo de pistones. Finalmente, en 2018 se estudió en

rendimiento de compresores scroll utilizando modelos empíricos utilizando polinomios ajustados con una matriz de datos experimentales.

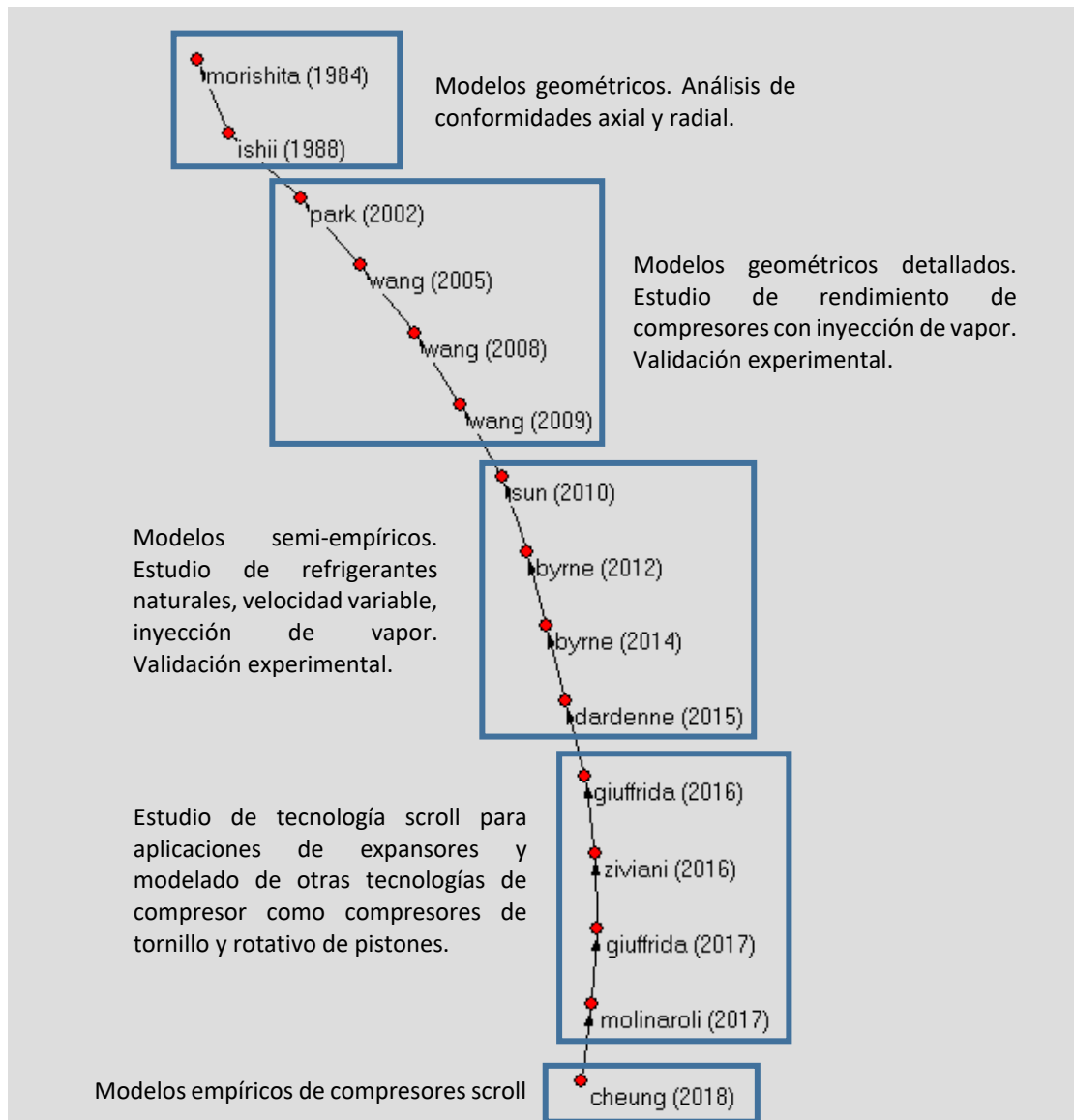


Figura 19. Análisis de la trayectoria científica de los compresores scroll.

### 3.2 Análisis de la trayectoria tecnológica.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el resultado de la búsqueda en la base de datos de la USPTO fue de 2446 patentes. El listado de referencias de patentes se abrió desde el programa Pajek y se generó la trayectoria principal de las patentes en función de los pesos de las citas (SPNP), el resultado se muestra en la Figura 20. Se debe notar que la patente de creación de la tecnología scroll es la de Leon Creux (Creux, 1905), sin embargo, no aparece en la trayectoria principal de citas de

patentes. Se infiere que la razón principal es que hasta finales de la década de 1980 dicha tecnología todavía no cobró importancia en el sector de la refrigeración.

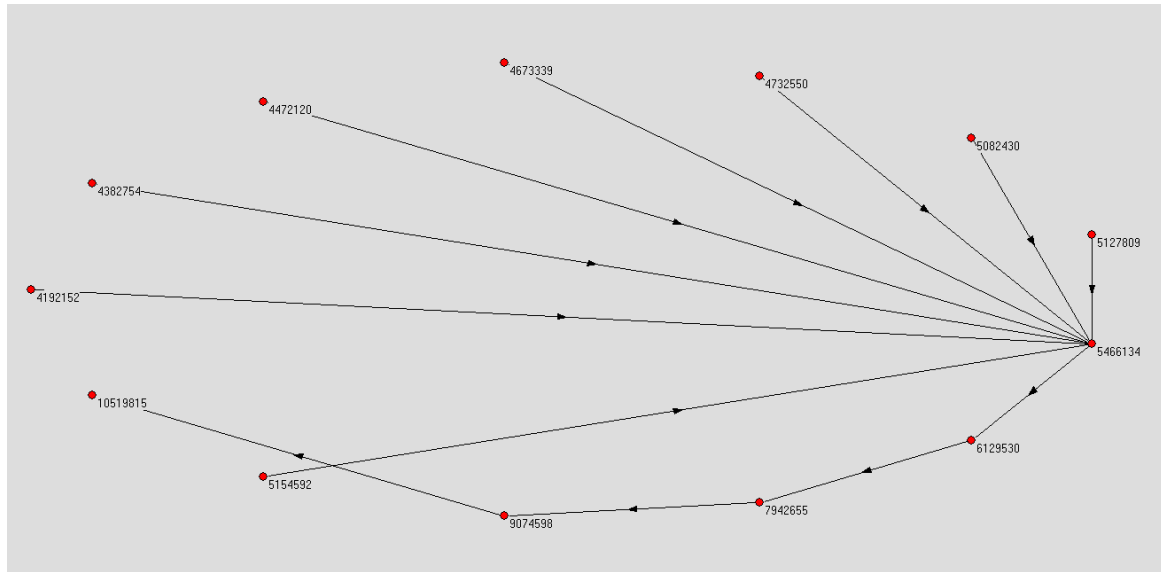


Figura 20. Trayectoria principal (SPNP) de los compresores scroll.

Posteriormente se graficó la red de patentes con la opción Energy, Kamada-Kawai, free. El resultado de la generación de la trayectoria tecnológica de compresores scroll se muestra en la Figura 21.

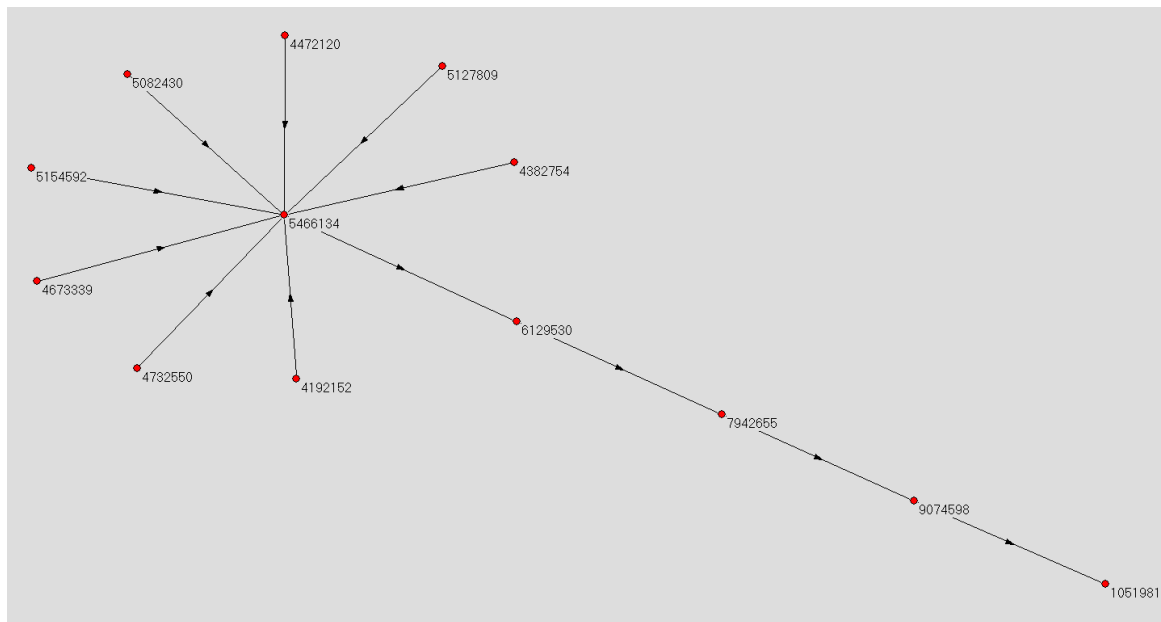


Figura 21. Trayectoria tecnológica de los compresores scroll.

Los compresores scroll se utilizan a menudo en equipos como concentradores de oxígeno y refrigeradores. Se prefieren los compresores scroll para tales aplicaciones porque tienden a ser más

silenciosos en funcionamiento que los compresores alternativos. Los compresores scroll incluyen dos espirales (scroll) que se entrelazan y definen áreas o zonas de succión en sus bordes exteriores. Los vacíos de fluido están definidos por las dos involutas entre sus puntos de contacto. Una involuta es fija y la otra es movida (órbita), por ejemplo, por un motor eléctrico. El movimiento orbital de la involuta en órbita hace que los huecos de fluido se muevan hacia el centro de las involutas y se hagan más pequeños para comprimir el fluido contenido en ellos. La salida está en el centro de la voluta y el fluido comprimido se libera en ese punto.

Shaffer & Acker (1983) presentaron una patente de un compresor scroll (N° 4382754), en el cual, para adaptarse a una diferencia en la expansión térmica entre las zonas más interior y exterior del aparato, las volutas espirales se forman con espesores variables a lo largo de sus longitudes, como se muestra en la Figura 22. Por consiguiente, en el centro del aparato, donde se forma un orificio de escape, los espesores de los elementos en espiral son mayores, el fluido comprimido es más denso y la expansión térmica es mínima, los elementos definen espacios libres mínimos cerrados, sustancialmente sellados, de una medida dada. En los confines más externos del aparato, donde se forma un puerto de entrada, los espesores de los elementos de espiral son mínimos, el fluido es menos denso y la expansión térmica es mayor, los elementos definen espacios libres mínimos similares, aunque mayores que la medida dada anteriormente.

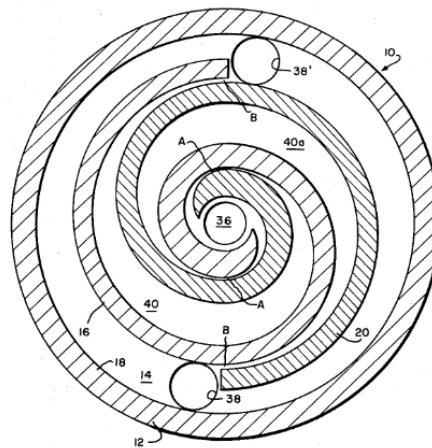


Figura 22. Vista en sección transversal de las volutas, tomada en un plano perpendicular al eje del compresor scroll (Shaffer & Acker, 1983).

Hasta esa época los compresores scroll existentes tenían varias limitaciones; por un lado, dado que toda la carcasa sellada se calienta por el calor generado cuando se comprime el gas, si el camino del gas extraído es largo desde su entrada o succión a través del recipiente sellado hasta las cámaras de compresión, entonces el gas extraído se calienta. Además, la alta presión dentro de la carcasa sellada actúa sobre la primera superficie o superficie trasera de la placa del de la voluta móvil, es decir, la superficie alejada de las cámaras de compresión, y una fuerza fuerte presiona contra la voluta

estacionaria, lo que provoca una gran fuerza de fricción que se produce entre las dos volutas de modo que el gas aspirado se calienta. Cuando el gas aspirado desde el puerto de succión se calienta antes de ingresar a las cámaras de compresión, el flujo másico a la salida se reduce, reduciendo así la capacidad del compresor. Por otro lado, el gas siempre está siendo aspirado de modo que la parte del gas que pierde el tiempo del ciclo de compresión se acumula dentro de la sección de compresión, mientras que, cuando un puerto de succión de gas está ubicado cerca de la voluta para hacer que la succión de gas sea intermitente, existe la limitación de que el diámetro del puerto de succión de gas no se puede hacer más grande que el grosor del material de la envoltura, por lo que la resistencia en la trayectoria del flujo no se puede reducir.

En este contexto, Hayano et al. (1987) presentaron una patente de compresor scroll (N° 4673339), en el que el calentamiento del gas aspirado desde el puerto de succión a la sección del dispositivo de compresión antes de que alcance las cámaras de compresión se mantenga al mínimo (ver Figura 23). Esta invención proporciona un compresor scroll en el que un puerto provisto para la sección intermitente de gas tiene un diámetro mayor de modo que aumenta el flujo de gas aspirado.

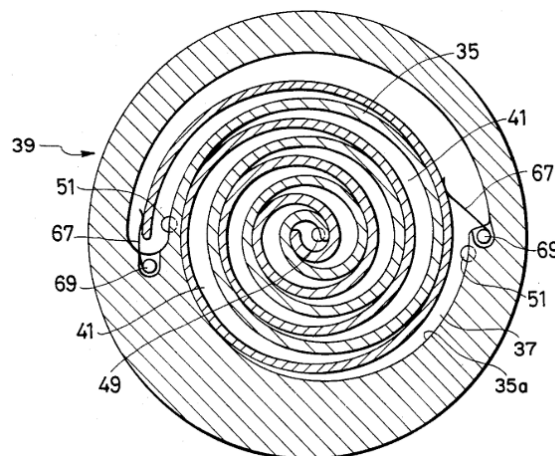


Figura 23. Vista frontal en sección transversal de un compresor scroll propuesto por Hayano et al. (1987).

Suzuki, Y.; Nakamura, T.; Maeda, (1988) presentaron una patente (N° 4732550) de una máquina de fluido scroll con elementos finos de regulación en ranuras que tienen porción escalonada. Esta máquina de fluido scroll se puede usar para compresores, expansores y similares, que comprende elementos de regulación fina en espiral que tienen la misma curvatura que cada placa espiral lateral en de una voluta fija y una móvil y ranuras provistas al final de la cara de cada placa espiral lateral en de ambas volutas y provista de una porción escalonada formada a la mitad de la misma para ser forzada allí dentro de dichos elementos de regulación fina en espiral, y espacio axial entre la cara extrema de cada placa lateral en espiral de la voluta fija y la voluta en órbita y el fondo opuesto estando finamente regulada la cara de cada placa de lecho estableciendo profundidades de colocación

de los elementos de regulación finos en las ranuras, con lo que se evita que se escape un fluido en el funcionamiento de las mismas. La Figura 24 muestra una vista en perspectiva de un elemento de regulación fina y volutas de la máquina scroll.

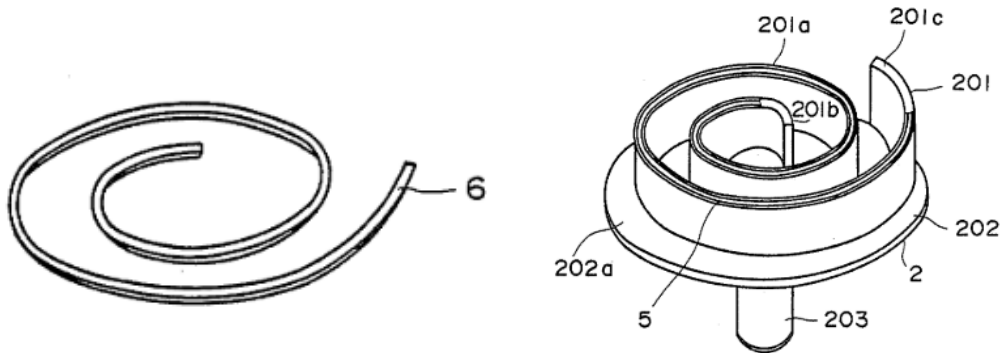


Figura 24. Vista en perspectiva de un elemento de regulación fina en un compresor scroll propuesto por Guttinger (1992).

En el mismo año, (Amata et al., 1992) propuso una patente (Nº 5127809) de un compresor scroll con nervios de refuerzo en el scroll orbitante. Cada uno de los rollos fijos y en órbita tiene una placa final y una envoltura en espiral. Se forma un saliente de cojinete en la superficie trasera de la placa de extremo de dicha espiral en órbita. Se forma una pluralidad de nervios radiales en la superficie trasera de la placa de extremo de dicha espiral en órbita, extendiéndose los nervios radiales desde el saliente de apoyo hasta el lado marginal de la placa de extremo de dicha espiral en órbita como se muestra en la Figura 25. El objeto de esta invención fue proporcionar un compresor scroll en el que se reduce el peso de la espiral orbital, se evita el aumento de la carga debido a la compresión del fluido en la parte periférica de la placa externa de la espiral orbital, y el centro de gravedad de dicha espiral se encuentra en alineación sustancial con el eje central del del cojinete saliente.

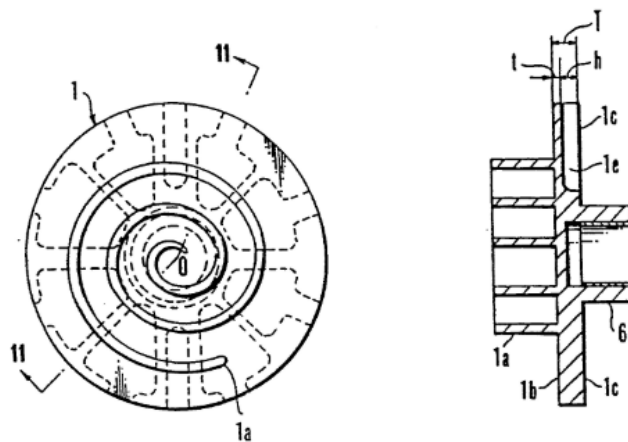


Figura 25. Vista de planta y lateral del scroll orbital propuesto por Amata et al. (1992).

Las involutas del scroll se mantienen en una relación de fase específica. Para que el compresor funcione correctamente, se debe mantener la relación de fase entre las dos involutas. Normalmente, se han utilizado acoplamientos Oldham para mantener la relación de fase. Sin embargo, estos acoplamientos requieren lubricación. Si no hay suficiente lubricación en el acoplamiento, el compresor fallará. Otros han usado manivelas locas para mantener la relación de fase. Tales sistemas se muestran, por ejemplo, en la patente N° 4192152 de Armstrong & McCullough, (1980) y en la patente N° 5154592 de Ohtani et al. (1992); ambos compresores colocan manivelas locas en la periferia de las volutas. Las manivelas locas mantienen los dos scrolls en la relación de fase adecuada. Sin embargo, no permiten aprovechar el movimiento giratorio de la manivela. Este movimiento podría usarse para impulsar otros elementos, como ventiladores. Esta configuración también requiere un mecanizado de precisión para mantener la holgura operativa de las volutas.

La holgura de funcionamiento entre los scrolls fijo y móvil debe controlarse con precisión para que el compresor funcione correctamente. Se han utilizado topes mecanizados en la carcasa o en la voluta fija para controlar la holgura de funcionamiento. Sin embargo, una parada brusca no es adecuada para compresores no lubricados. La holgura de funcionamiento también se ha controlado mediante contactos angulares de precisión o rodamientos de rodillos esféricos. La patente N° 4472120, de McCullough (1984), es un ejemplo de un compresor que utiliza cojinetes de rodillos esféricos. Sin embargo, estos cojinetes son muy caros.

La holgura de funcionamiento entre los scrolls fijo y móvil crea un "orificio de soplado" formado por el espacio entre la punta de una involuta y la placa del miembro de espiral opuesto. Este "orificio de soplado" crea fugas en las cámaras de fluido que reducen el rendimiento del compresor. Por tanto, es importante que el sello entre la punta de una envoltura y la base de su espiral opuesta se mantenga lo más apretado posible. Mantener la holgura de funcionamiento entre la punta de la envoltura y la base de la voluta opuesta se complica por el calor generado durante el funcionamiento del compresor. La generación de calor no es constante a lo largo del scroll. Se genera más calor en el centro del scroll, cerca de la salida, que al comienzo de los scrolls, cerca de las áreas de entrada o succión.

Algunos compresores han utilizado medios de sellado de conformidad para mantener el orificio de soplado cerrado y al mismo tiempo permitir la expansión de la envoltura a lo largo de su longitud. Otros compresores, como el compresor de Ohtani et al. (1992), no utilizan sellos de cumplimiento. Más bien, cambian la altura del scroll a lo largo de su longitud para adaptarse a la expansión del scroll durante la operación. Por supuesto, esto no mantendrá el orificio de soplado cerrado en todo momento, lo que afectará negativamente al rendimiento del compresor. Para evitar el uso de sellos de cumplimiento, se debe incorporar una gran precisión en la fabricación de los componentes. Es necesario mantener con precisión la relación de la carcasa del compresor con la voluta fija y el cojinete central dentro de la carcasa. El cojinete de accionamiento central en la voluta móvil también debe estar ubicado con precisión. Toda esta precisión aumenta enormemente el costo del compresor.

Por supuesto, la generación de calor puede minimizarse mediante una disipación de calor eficiente. Las aletas se han utilizado para disipar el calor y fortalecer los scrollles. Normalmente, estas aletas se extienden radialmente a lo largo de una superficie exterior de los scrollles. Las aletas también sirven para hacer que los scrollles sean rígidos para minimizar la deflexión y la distorsión. Los scrollles rígidos ayudan a optimizar el rendimiento del compresor scroll. La posición y la formación de las nervaduras se pueden mejorar tanto para fortalecer las volutas como para mejorar la disipación del calor.

En este contexto, Shaffer et al. (1995) presentó una patente (N° 5466134) de un compresor scroll con al menos dos conjuntos de eje loco para mantener la relación de fase y la holgura de funcionamiento entre los scrollles. Cada uno de los conjuntos de eje loco incluye dos ejes conectados operativamente, una en la espiral fija y la otra en la espiral orbital. El eje de espiral fijo es accesible desde el exterior de modo que su movimiento de rotación puede aprovecharse para impulsar un ventilador u otra etapa del compresor, por ejemplo. Se forman nervaduras o aletas en las superficies de las placas para facilitar la disipación del calor y hacer más rígidos los miembros del scroll, como se muestra en la Figura 26. Las volutas están provistas de sellos que sellan contra la placa del miembro de espiral opuesto para sellar las cámaras de fluido contra fugas.

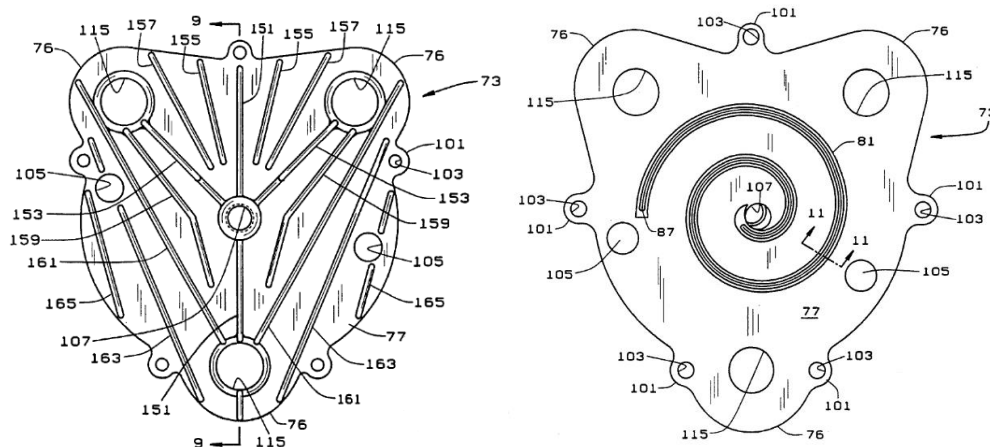


Figura 26. Vista una vista en planta de una superficie exterior e interior de una espiral fija del compresor scroll (Shaffer et al., 1995).

Siguiendo la línea del uso de ejes locos, Shaffer (2000) presentó una patente (N° 6129530) de un compresor scroll con un eje loco de dos piezas y dos platos scroll. Las dos piezas del eje loco están hechas de forma independiente entre sí y cada una incluye un eje de simetría que facilita la formación, o conformación parcial, de las piezas en un torno. Las dos partes, cada una de las cuales incluye un eje, se unen luego con los ejes desplazados entre sí para formar la excentricidad adecuada en el eje loco. Los ensamblajes de scroll se hacen primero formando una placa base para el Scroll deseado y luego formando una ranura excéntrica en la placa base. En la ranura de la placa de base se inserta



una evolvente, que está formada para corresponder a la ranura. La involuta tiene ranuras en ambas superficies de sus extremos para permitir que se use la misma involuta tanto para la placa de espiral fija como para la orbitante. La Figura 27 muestra una vista lateral del eje loco de dos piezas para el compresor scroll.

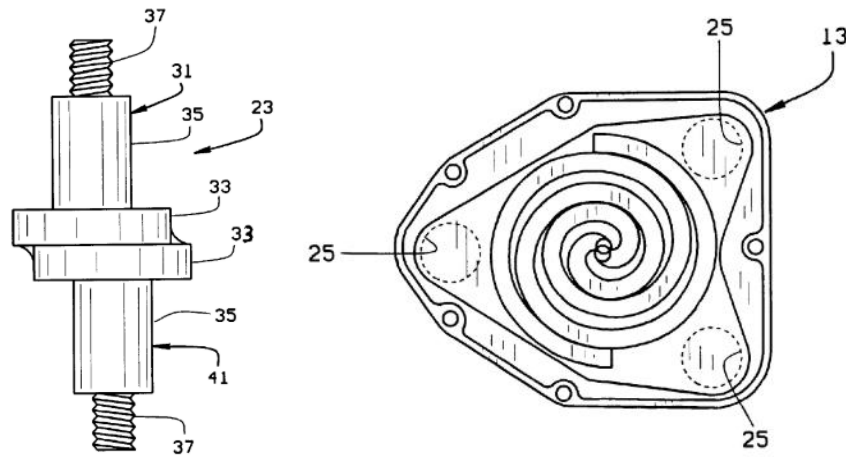


Figura 27. Vista de elevación del eje loco de dos piezas y vista de planta de la base del compresor scroll (Shaffer, 2000).

Otro factor importante en el funcionamiento del compresor es el aceite, que se utiliza durante la fabricación y el funcionamiento de los compresores. Los compresores y bombas de vacío del tipo Scroll sin aceite tienen una fabricación difícil y costosa, debido a la alta precisión del scroll en cada compresor y bomba. Para los equipos lubricados con aceite, los eslabones oscilantes a menudo minimizan las fugas de los espacios en los scrolls al permitir que los scrolls entren en contacto con la placa del scroll. Tales eslabones no se pueden usar en un equipo sin aceite debido a la fricción y al desgaste de los scrolls. Si las volutas fijas y móviles en un equipo sin aceite carecen de precisión, se producirán fugas y el rendimiento del equipo disminuirá a medida que los vacíos tardan más en inducirse o no surjan en absoluto.

Siguiendo la trayectoria principal de patentes, Shaffer (2011) presentó un patente de un compresor avanzado, cuya configuración puede ser utilizada para bombas de vacío y expansores. Este diseño propone el uso de un fuelle adecuado para refrigeración líquida y un sello accionado por émbolo para las puntas de espiral de varios equipos. Un fuelle atraviesa las volutas fijas y móviles y sella herméticamente el dispositivo scroll. Usando dos fuelles, permite la refrigeración líquida de un compresor con una entrada y una salida para expulsar el refrigerante calentado a un intercambiador de calor. Luego, las volutas tienen una espiral sobre un plato que termina en una punta. Un sello en la punta que linda con la espiral fija sobre un émbolo sesgado modifica los diseños de espiral existentes para mantener el sello en contacto con la espiral fija. Las modificaciones también proporcionan un recubrimiento mejorado que sella los scrolls fijos y móviles entre sí sin el uso de

epóxicos, desmontaje y limpieza. La Figura 28 muestra una vista de planta de la placa de enfriamiento y su conexión al fuelle.

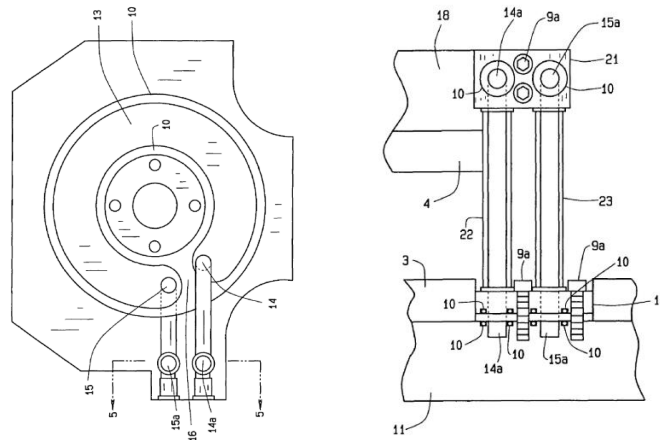


Figura 28. Vista de planta de la placa de enfriamiento utilizando fuelles en un compresor scroll (Shaffer, 2011).

Shaffer & Shaffer (2015) presentaron una patente (N° 9074598) de un dispositivo scroll que incluye funciones de compresor y expansor en un solo par de placas espirales. Esta invención ofrece un avance significativo, ya que la unidad normalmente opera en una sola función. El diseño elimina cualquier engranaje o eje entre el compresor y el expansor y, al mismo tiempo, reduce el costo y aumenta la eficiencia. Tal construcción incluye una carcasa con dos placas de volutas intercaladas que forman un par de placas espirales que están instaladas dentro de la carcasa para que puedan moverse operativamente entre sí, como en una órbita excéntrica entre sí. Las partes internas de las placas en espiral funcionarán para expansión y las partes externas operarán para compresión, pero tales partes y funciones pueden invertirse si es deseable para ciertas condiciones o circunstancias.

Para dicho funcionamiento preferido de las porciones interior y exterior de las placas de espiral, se proporciona una entrada de expansión en el centro, se proporciona una entrada de compresor en el punto espiral exterior, y se proporciona una descarga de compresor y una descarga de expansión en un punto intermedio de la espiral. A medida que el dispositivo funciona en su dirección normal hacia adelante, la parte interior funciona como un expansor para expandir el fluido de trabajo que se le proporciona en el puerto de entrada del expansor asociado con el centro de las volutas y para descargar el fluido expandido en el puerto de descarga en el punto espiral intermedio, y la parte exterior funciona como un compresor para comprimir el fluido de trabajo proporcionado al mismo en el puerto de entrada del compresor en el punto espiral exterior y para descargar el fluido compresor en el puerto de descarga en el punto espiral intermedio. La Figura 29 muestra el detalle de los scrolles del prototipo, en lugar de ejes tensores, emplea un anillo Oldham para alinear los scrolles y un cojinete de empuje de placa plana para soportar las cargas axiales.

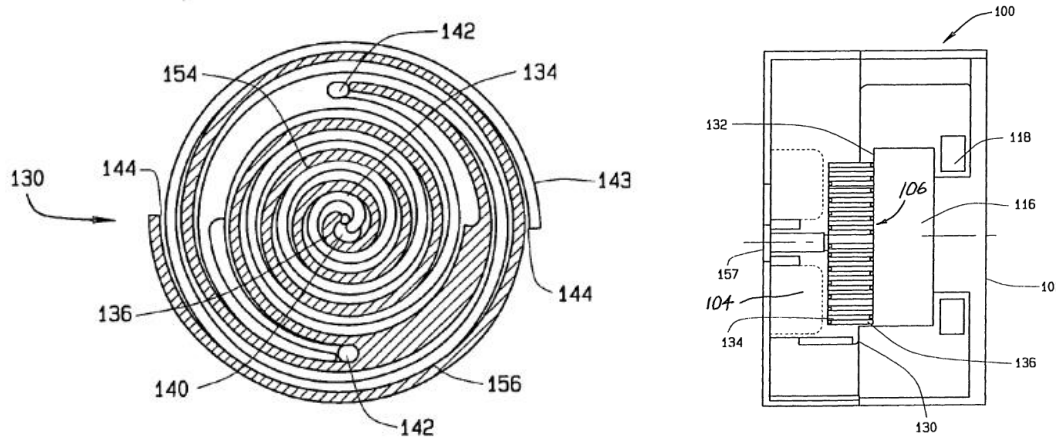


Figura 29. Vista de la sección transversal del dispositivo scroll (Shaffer & Shaffer, 2015).

Cuando se usa para acondicionamiento de aire como parte de un sistema de acondicionamiento de aire de calor residual, la porción de expansión se usa para generar energía que puede usarse para impulsar la porción de compresor. El refrigerante de alta presión calentado entrará en la parte del expansor y, durante el proceso de expansión, producirá energía para impulsar el compresor, que luego comprimirá el refrigerante para un ciclo de aire acondicionado tradicional.

Normalmente, el puerto de entrada del expansor se conectará a la salida del evaporador de un ORC, el puerto de entrada del compresor se conectará a la salida del evaporador del ciclo de aire acondicionado tradicional y el puerto de descarga batirá una presión intermedia, con parte del flujo de allí va al condensador para el ORC y parte va al condensador del sistema de aire acondicionado.

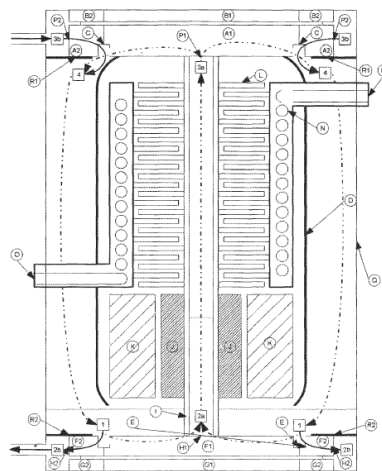


Figura 30. Diagrama del ciclo compacto de energía.

Finalmente, Shaffer R. & Shaffer B. (2019) presentó una patente (N° 10519815) que consiste en un ciclo compacto de energía que opera como o en concordancia con un ciclo Rankine, ciclo Rankine

orgánico, bomba de calor o ciclo de bomba de calor y Rankine orgánico combinado. El sistema está comprendido por una carcasa compacta de forma cilíndrica con alguna combinación de un expansor de tipo espiral, bomba, y un compresor dispuesto en el mismo, para compartir un eje común con un motor o generador y para formar un sistema integrado, con el fluido de trabajo del sistema circulando dentro del alojamiento como un toroide a lo largo del eje común y toroidalmente dentro del alojamiento mientras funciona el sistema. El diagrama del sistema se ilustra en la Figura 30.

En la Figura 31 se muestra el análisis de la trayectoria tecnológica de los compresores scroll. Si bien es cierto, el compresor scroll fue patentado por primera vez en 1905 por el francés Leon Creux (Creux, 1905), su diseño basado en dos espirales o scrolls, que se tienen que fabricar con tolerancias de mecanizado bastante exigentes, hizo que, su concepto fuese olvidado por varias décadas, ya que en aquella época no existía la tecnología de precisión suficiente para su producción. En 1972 el físico Niels Young retomó el concepto del scroll, y propuso la idea a Arthur D. Little, en Cambridge, Massachussets, y su empresa se convirtió en la primera compañía en aplicar la tecnología del scroll a compresores de aire acondicionado, y así, en 1973 se desarrolló un modelo viable, en el cual las técnicas de mecanizado por control numérico utilizadas hicieron posible la fiabilidad de fabricación imprescindible para este tipo de compresores.

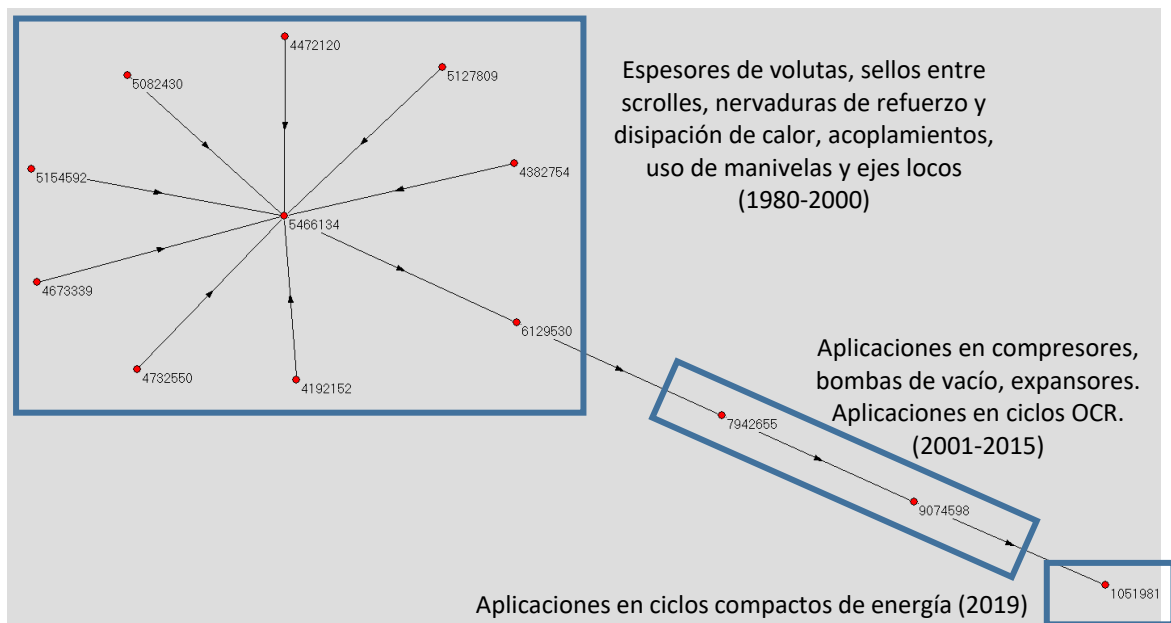


Figura 31. Trayectoria tecnológica de los compresores scroll.

En la década de los 80, las patentes presentadas fueron orientadas a dispositivos scroll con diferentes espesores en las volutas, con sistemas de sellado entre scrolls, nervaduras de refuerzo y disipación de calor, acoplamientos, uso de manivelas locas. En la década de los 90 las patentes se centraron en el uso de ejes locos en compresores scroll. Para el año 2011 se presentaron patentes de dispositivos scroll para aplicaciones de compresores, bombas de vacío y expansores. Para el año 2015 se

presentaron patentes de dispositivos scroll para aplicaciones de compresores y expansores en ciclos Rankine orgánicos en un solo dispositivo. Finalmente, para 2019, las patentes presentadas fueron sobre el uso de dispositivos scroll en ciclos compactos de energía.

### 3.3 Análisis de la coevolución científica y tecnológica de los compresores scroll

Como se ha comentado antes, uno de los primeros desafíos de la tecnología scroll fue superar las limitaciones en cuanto al mecanizado de los scrolls y conseguir tolerancias pequeñas en su fabricación. Es por eso por lo que, tanto para la trayectoria tecnológica como para la trayectoria científica, la red principal de patentes y artículos científicos empieza a inicios de la década de los 80.

Una vez superada las exigentes tolerancias de mecanizado en la fabricación de los scrolls, se han identificado dos partes en la coevolución de las trayectorias científica y tecnológica. La primera parte se evidencia entre los bloques azules de patentes y artículos científicos (ver Figura 32). Esta parte se compone de patentes solicitadas entre los años 1980 y 2000, las cuales proponían desarrollos de compresores scroll que consideraban dentro de sus novedades los espesores de volutas, los sellos entre scrolls, las nervaduras de refuerzo y disipación de calor, los acoplamientos, el uso de manivelas y ejes locos. Este grupo de patentes presenta una relación directa con dos artículos científicos (bloque azul de artículos científicos en Figura 32), tratando de responder la pregunta ¿Cómo modelar un compresor scroll para análisis de conformidades geométricas, uso de nuevos refrigerantes y estimación del rendimiento de sistemas? Estos artículos son el de Morishita (1984) y el de Ishii (1988), que estudiaron modelos geométricos de compresores scroll para el análisis de conformidades axial y radial entre los scrolls. En la Figura 32 se representa esta relación directa entre los dos bloques azules, uniéndolos con una línea continua de color rojo.

Sin embargo, la trayectoria científica muestra el desarrollo de estudios más profundos a partir del primer grupo de patentes. Estos estudios se dividen en dos bloques, el primero, consta de artículos publicados entre los años 2002 y 2009, los cuales proponen modelos geométricos detallados para el estudio del rendimiento de compresores con inyección de vapor, con validación experimental. La inyección de vapor surgió a partir de la necesidad de mejorar el rendimiento de los compresores scroll cuando operando en sistemas de refrigeración con bajas temperaturas de evaporación (ultracongelación) y también en sistemas de bomba de calor cuando operan en climas fríos, en países que tienen inviernos muy fríos y veranos muy calientes. En estas condiciones, la eficiencia volumétrica e isentrópica se reducen porque el compresor trabaja con altas relaciones de presiones, lo que conduce a una reducción del flujo másico trasegado y a un aumento del consumo eléctrico del compresor. La inyección de vapor se convirtió en una técnica que permite reducir el consumo del compresor, reducir la entalpía del refrigerante en una etapa intermedia de la compresión, lo que provoca una reducción de la temperatura de descarga del compresor, aumentando su mapa de operación significativamente.

El segundo bloque de estudios consta de artículos publicados entre los años 2010 y 2015, los cuales proponen modelo semiempíricos de compresores scroll para el análisis del rendimiento utilizando refrigerantes naturales y velocidad variable con validación experimental. El uso de refrigerantes naturales (propano, butano, CO<sub>2</sub>) tomó importancia desde que se empezó a restringir el uso de refrigerantes HCFC y HFC que contienen cloro, el cual daña la capa de ozono. Además, las normativas europeas regulaban el uso de refrigerantes con alto GWP (Global Warming Potencial) que es un índice de potencial de calentamiento global. Consecuentemente, los esfuerzos se direccionaron a estudiar el rendimiento de sistemas de refrigeración y bombas de calor que trabajen con refrigerantes naturales que no tienen el problema de destrucción de la capa de ozono ni de calentamiento global. Por otro lado, la necesidad de mejorar la eficiencia de los sistemas energéticos, y la búsqueda de una mejor regulación de la capacidad frigorífica o calorífica, que se ajuste mejor a la demanda, motivaron a realizarse estudios con compresores scroll de velocidad variable. La relación parcial entre el primer grupo de patentes y los dos grupos de artículos científicos se representan en la Figura 32 uniéndolos con una línea entrecortada de color rojo.

La segunda parte de la coevolución de las trayectorias científica y tecnológica de los compresores scroll se evidencia entre los bloques verdes de patentes y artículos científicos (ver Figura 32). Esta parte se compone de patentes solicitadas entre los años 2001 y 2015, las cuales proponían desarrollos dispositivos scroll para aplicaciones como compresores, bombas de vacío y expansores. Además, se propuso la aplicación de la tecnología scroll en ciclos ORC (Organic Rankine Cycle). Este grupo de patentes presenta una relación directa con un bloque de cuatro artículos científicos (bloque verde de artículos científicos en Figura 32), tratando de responder la pregunta ¿Cuál es el rendimiento de un expansor scroll en un ciclo ORC? En este grupo de artículos se estudió la tecnología scroll para aplicaciones de expansores y para el modelado de otras tecnologías de compresor como compresores de tornillo y rotativo de pistones. Los ciclos ORC tomaron importancia a partir de la necesidad de estudiar sistemas que permitan la generación de energía a partir de fuentes de energía residuales o circuitos secundarios de otros sistemas que contengan energía térmica. El alto rendimiento volumétrico e isentrópico de la tecnología scroll, fueron los motivos principales para aplicarlos en este tipo de sistemas y, además, sirvieron para establecer modelos de otras tecnologías de compresores de desplazamiento positivo.

En la actualidad, las patentes presentadas se basan principalmente en aplicaciones de la tecnología scroll en ciclos compactos de energía. Por su parte, la trayectoria científica continúa con estudios que pretenden conseguir modelos empíricos de compresores scroll, que permitan la fácil implementación en modelos de sistemas térmicos para la evaluación energética.

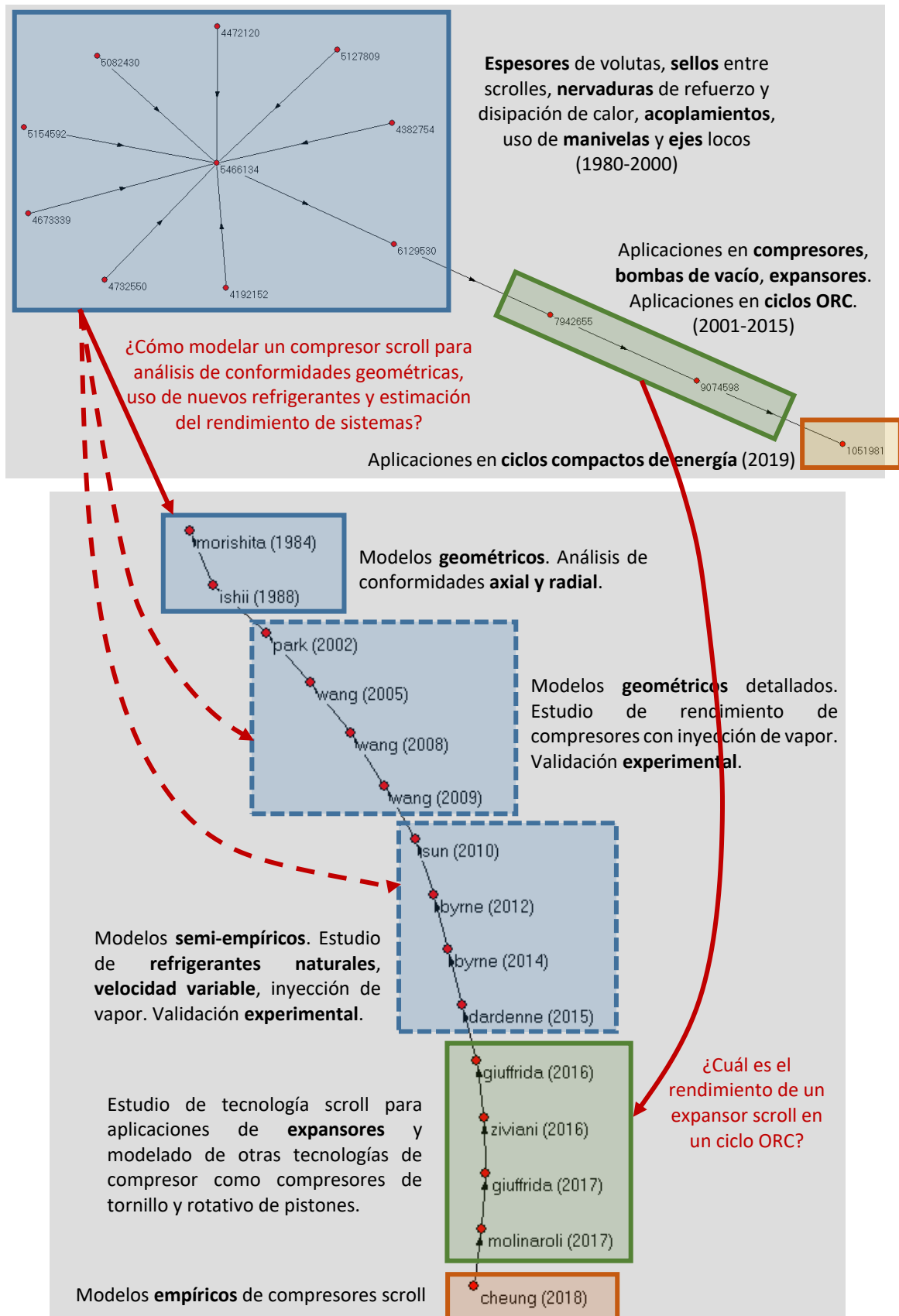


Figura 32. Análisis de la coevolución científica y tecnológica de los compresores scroll.

## 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación analiza la trayectoria científica y tecnológica de los compresores scroll para refrigeración y bombas de calor. Para ello, se utilizó la metodología de análisis de conectividad de citas tanto de patentes como de artículos científicos. Las patentes fueron consultadas en la base de datos de la USPTO, mientras que los artículos científicos fueron consultados en la base de datos de la Web of Science. Para la generación de las trayectorias de patentes y de artículos científicos se utilizaron los programas Citnet Explorer y Pajek. Del presente estudio se desprenden las siguientes conclusiones:

- Sobre trayectoria científica, hasta finales de los 90 los análisis se centraron en el estudio de conformidades axial y radial del compresor utilizando modelos geométricos con validación experimental. Hasta el 2010, los estudios se enfocaron en el rendimiento de compresores scroll con inyección de vapor, utilizando modelos geométricos detallados de las espirales del compresor, con validación experimental. Hasta el 2015, se utilizaron modelos semi-empíricos por su facilidad de implementación con modelos de sistemas como bombas de calor y circuitos frigoríficos. Se analizó el uso de refrigerantes naturales, mejoras del rendimiento del sistema con inyección de vapor, velocidad variable, con validación experimental. Del 2016 al 2017 se estudió la tecnología scroll para aplicaciones de expansores en aplicaciones de ciclos orgánicos Rankine y como base para el modelado de otras tecnologías de compresor como compresores de tornillo y rotativo de pistones. Finalmente, en 2018 se estudió en rendimiento de compresores scroll utilizando modelos empíricos utilizando polinomios ajustados con una matriz de datos experimentales.
- Sobre trayectoria tecnológica, en la década de los 80, las patentes presentadas fueron orientadas a dispositivos scroll con diferentes espesores en las volutas, con sistemas de sellado entre scrolles, nervaduras de refuerzo y disipación de calor, acoplamientos, uso de manivelas locas. En la década de los 90 las patentes se centraron en el uso de ejes locos en compresores scroll. Para el año 2011 se presentaron patentes de dispositivos scroll para aplicaciones de compresores, bombas de vacío y expansores. Para el año 2015 se presentaron patentes de dispositivos scroll para aplicaciones de compresores y expansores en ciclos Rankine orgánicos en un solo dispositivo. Finalmente, para 2019, las patentes presentadas fueron sobre el uso de dispositivos scroll en ciclos compactos de energía.
- Uno de los primeros desafíos de la tecnología scroll fue superar las limitaciones en cuanto al mecanizado de los scrolles y conseguir tolerancias pequeñas en su fabricación. Es por eso por lo que, tanto para la trayectoria tecnológica como para la trayectoria científica, la red principal de patentes y artículos científicos empieza a inicios de la década de los 80.



- Se identificaron dos partes en la coevolución de las trayectorias científica y tecnológica. La primera parte comprende patentes solicitadas entre 1980-200 y artículos publicados entre 1984-2015 que responden a la interrogante de cómo modelar un compresor scroll para análisis de conformidades geométricas, uso de nuevos refrigerantes y estimación del rendimiento de sistemas. La segunda parte comprende patentes solicitadas entre 2001-2015 y artículos publicados entre 2016-2018 que responden a la interrogante de cuál es el rendimiento de un expansor scroll en un ciclo ORC.
- Con la trayectoria de patentes se identificaron las fases de la coevolución científica y tecnológica de los compresores scroll, sin embargo, la trayectoria científica permite describir la dimensión de la innovación que se ha desarrollado sobre los compresores scroll, que ha resultado ser una tecnología muy versátil y que ha permitido dar solución en el sector de la refrigeración a solicitudes derivadas del tema de eficiencia energética, demanda energética en climas extremos, nuevos refrigerantes, nuevos sistemas de calefacción, producción de agua caliente sanitaria, ciclos ORC y uso de dicha tecnología en expansores y bombas de vacío.

## REFERENCIAS

- Afjei, T., Suter, P., & Favrat, D. (1992). Experimental Analysis of an Inverter-Driven Scroll Compressor Experimental Analysis of an Inverter-Driven Scroll Compressor with Liquid Injection with Liquid Injection. *International Compressor Engineering Conference at Purdue*, Paper 845. <https://docs.lib.purdue.edu/icec/845>
- Amata, A., Mizuno, T., & Uchikawa, N. (1992). *United States Patent 5127809*.
- Ángel, A., & Rivero, L. (n.d.). From a mechanical system to a complex technological system. The car case. *Contaduría y Administración*, 59(2), 11–39.
- Armstrong, A. E., & McCullough, J. E. (1980). *United States Patent 4192152* (Patent No. 4192152).
- Ayub, S., Bush, J. W., Haller, D. K., Ayub, S., & Bush, J. W. (1992). Liquid Refrigerant Injection in Scroll Compressors Operating at High Compression Ratios. *International Compressor Engineering Conference at Purdue*, Paper 847. <https://docs.lib.purdue.edu/icec>
- Barberá-Tomás, D., Jiménez-Sáez, F., & Castelló-Molina, I. (2011). Mapping the importance of the real world: The validity of connectivity analysis of patent citations networks. *Research Policy*, 40(3), 473–486. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.11.002>
- Byrne, P., Ghouhali, R., & Miriel, J. (2014). Scroll compressor modelling for heat pumps using hydrocarbons as refrigerants. *International Journal of Refrigeration*, 41, 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.IJREFRIG.2013.06.003>
- Byrne, P., Miriel, J., & Lénat, Y. (2012). Modelling and simulation of a heat pump for simultaneous heating and cooling. *Building Simulation*, 5(3), 219–232. <https://doi.org/10.1007/s12273-012-0089-0>
- Chen, Y., Halm, N. P., Groll, E. A., & Braun, J. E. (2002). Mathematical modeling of scroll compressors—part I: compression process modeling. *International Journal of Refrigeration*, 25(6), 731–750. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(01\)00071-8](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(01)00071-8)
- Cheung, H., Sarfraz, O., & Bach, C. K. (2018). A method to calculate uncertainty of empirical compressor maps with the consideration of extrapolation effect and choice of training data. *Science and Technology for the Built Environment*, 24(7), 743–758. <https://doi.org/10.1080/23744731.2017.1372805>
- Cimoli, M., & Primi, A. (2008). *Technology and intellectual property: A taxonomy of contemporary markets for knowledge and their implications for development*. <https://www.econstor.eu/handle/10419/89525>
- Creux, L. (1905). *United Stated Pantent 801182* (Patent No. US801182A).

- Dardenne, L., Fraccari, E., Maggioni, A., Molinaroli, L., Proserpio, L., & Winandy, E. (2015). Semi-empirical modelling of a variable speed scroll compressor with vapour injection. *International Journal of Refrigeration*, 54, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.03.004>
- Dutta, A. K., Yanagisawa, T., & Fukuta, M. (2001). An investigation of the performance of a scroll compressor under liquid refrigerant injection. *International Journal of Refrigeration*, 24(6), 577–587. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(00\)00041-4](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(00)00041-4)
- Encaoua, D., Guellec, D., & Martínez, C. (2006). Patent systems for encouraging innovation: Lessons from economic analysis. *Research Policy*, 35(9), 1423–1440. <https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2006.07.004>
- Fontana, R., Nuvolari, A., & Verspagen, B. (2009). Mapping technological trajectories as patent citation networks. An application to data communication standards. *Economics of Innovation and New Technology*, 18(4), 311–336. <https://doi.org/10.1080/10438590801969073>
- García Garnica, A., & Reyes Álvarez, J. (2015). Patentamiento, trayectoria y características de las baterías automotrices: el caso de los autos híbridos Patenting, trajectory and characteristics of automotive batteries: the case of hybrid cars. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 3(6), 41–56. [www.entreciencias.enes.unam.mx](http://www.entreciencias.enes.unam.mx)
- Gilsing, V., & Nooteboom, B. (2006). Exploration and exploitation in innovation systems: The case of pharmaceutical biotechnology. *Research Policy*, 35(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2005.06.007>
- Giuffrida, A. (2016). A semi-empirical method for assessing the performance of an open-drive screw refrigeration compressor. *Applied Thermal Engineering*, 93, 813–823. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.023>
- Giuffrida, A. (2017). Improving the semi-empirical modelling of a single-screw expander for small organic Rankine cycles. *Applied Energy*, 193, 356–368. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.015>
- Guoyuan, M., Qinhu, C., & Yi, J. (2003). Experimental investigation of air-source heat pump for cold regions. *International Journal of Refrigeration*, 26(1), 12–18. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(02\)00083-X](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(02)00083-X)
- Guttinger, H. (1992). *United States Patent 5082430*.
- Hall, B. H., & Ziedonis, R. H. (2009). Reprinted Article The patent paradox revisited: An empirical study of patenting in the U.S. semiconductor industry, 1979-1995. *Advances in Strategic Management*, 26(1), 341–379. [https://doi.org/10.1108/S0742-3322\(2009\)0000026035](https://doi.org/10.1108/S0742-3322(2009)0000026035)
- Hayano, M., Nagatomo, S., & Murasaki, H. (1988). Purdue e-Pubs An Analysis of Losses In Scroll

- Compressor Hirotaugu Sakata Toshiba Corporation. *International Compressor Engineering Conference at Purdue*, Paper 620. <https://docs.lib.purdue.edu/icec>
- Hayano, M., Nagatomo, S., Sakata, H., Hatori, M., Hattori, H., Toshiba, K. K., Data, R. U. S. A., Application, F., Data, P., & Vrablik, P. E. J. (1987). *United States Patent 4673339*.
- Hilmola, O.-P., Helo, P., & Kekäle, T. (2003). Economic Dynamics of R&D: Analysis of Technology and Development. *Proceedings of the 21st International Conference of the System Dynamics Society*.
- Ishii, N., Fukushima, M., Sawai, K., Sano, K., & I, aichi, K. (1988). Dynamic Behavior of a Scroll Compressor (Dynamic Analysis). *Chem. Pharm. Bull.*, 31(1), 58–67.
- Lara Rivero, A. A., García-Garnica, A., & Huerta, R. R. (2006). The dynamics of technological change in the automotive seat segment. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 6(2), 236–256. <https://doi.org/10.1504/IJATM.2006.009529>
- Ma, G. Y., & Chai, Q. H. (2004). Characteristics of an improved heat-pump cycle for cold regions. *Applied Energy*, 77(3), 235–247. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(03\)00123-5](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00123-5)
- Malerba, F., Orsenigo, L., Malerba, F., & Orsenigo, L. (1997). Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities. *Industrial and Corporate Change*, 6(1), 83–117. <https://econpapers.repec.org/RePEc:oup:indcch:v:6:y:1997:i:1:p:83-117>
- Martinelli, A. (2008). Technological trajectories and industry evolution: the case of telecom switching industry. *Proceedings of the DRUID-DIME Academy Winter 2008 PhD Conference, January 17-21, 2008*. <https://research.tue.nl/en/publications/technological-trajectories-and-industry-evolution-the-case-of-tel-4>
- McCullough, J. E. (1984). *United States Patent 4472120* (Patent No. 4482120).
- Mina, A., Ramlogan, R., Tampubolon, G., & Metcalfe, J. S. (2007). Mapping evolutionary trajectories: Applications to the growth and transformation of medical knowledge. *Research Policy*, 36(5), 789–806. <https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2006.12.007>
- Molinaroli, L., Joppolo, C. M., & De Antonellis, S. (2017). Modèle semi-empirique pour les compresseurs hermétiques à piston roulant. *International Journal of Refrigeration*, 79, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.04.015>
- Morishita, E., Sugihara, M., Inaba, T., & Nakamura, T. (1984). *Scroll compressor analytical model*.
- Nieter, J. J. (1988). Dynamics of Scroll Suction Process. *International Compressor Engineering Conference at Purdue*, Paper 617. <https://docs.lib.purdue.edu/icec>
- Nooteboom, B. (2000). *Learning and Innovation in Organizations and Economies*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSO/9780199241002.001.0001>

- Ohtani, I., Ando, T., & Fukuhara, Y. (1992). *United States Patent 5154592* (Patent No. 5154592).
- Ooi, K. T., & Zhu, J. (2004). Convective heat transfer in a scroll compressor chamber: a 2-D simulation. *International Journal of Thermal Sciences*, 43(7), 677–688. <https://doi.org/10.1016/J.IJTHERMALSCI.2003.11.005>
- Oslo Manual 2018*. (2018). <https://doi.org/10.1787/9789264304604-EN>
- Palomeras, N. (2003). *Sleeping patents Any reason to wake up*. 3(506).
- Park, Y. C., Kim, Y., & Cho, H. (2002). Thermodynamic analysis on the performance of a variable speed scroll compressor with refrigerant injection. *International Journal of Refrigeration*, 25(8), 1072–1082. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(02\)00007-5](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(02)00007-5)
- Patents / USPTO*. (n.d.). Retrieved July 23, 2021, from <https://www.uspto.gov/patents>
- Renedo, C., & Fernandez, P. (2000). *INTRODUCCIÓN AL COMPRESOR ROTATIVO SCROLL*. [https://files.redsauce.net/js/pdfjs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fsm1.redsauce.net%2FAppController%2Fcommands\\_RSM%2Fapi%2Fapi\\_getFile.php%3FitemID%3D120%26propertyID%3D20%26RStoken%3D59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38](https://files.redsauce.net/js/pdfjs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fsm1.redsauce.net%2FAppController%2Fcommands_RSM%2Fapi%2Fapi_getFile.php%3FitemID%3D120%26propertyID%3D20%26RStoken%3D59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38)
- Shaffer, R. W. (2000). *United States Patent 6129530*.
- Shaffer, R. W. (2011). *United States Patent 7942655*.
- Shaffer, R. W., & Acker, J. R. (1983). *United States Patent 4382754* (Patent No. 4382754).
- Shaffer, R. W., Adriance, K., & Kimbro, C. D. (1995). *United States Patent 5466134*.
- Shaffer, R. W., & Shaffer, B. R. (2015). *United States Patent 9074598* (Patent No. 9074598).
- Shaffer, R. W., & Shaffer, B. R. (2019). *United States Patent 10519815* (Patent No. 10519815).
- Souitaris, V. (2002). Technological trajectories as moderators of firm-level determinants of innovation. *Research Policy*, 31(6), 877–898. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00154-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00154-8)
- Suárez, D., Erbes, A., & Barletta, F. (2020). *Teoría de la innovación: evolución, tendencias y desafíos*. Ediciones Complutense, Ediciones UNGS.
- Sun, S., Zhao, Y., Li, L., & Shu, P. (2010). Simulation research on scroll refrigeration compressor with external cooling. *International Journal of Refrigeration*, 33(5), 897–906. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2010.03.005>
- Suzuki, Y.; Nakamura, T.; Maeda, T. . (1988). *United States Patent 4732550*.
- Tojo, K., Ikegawa, M., Maeda, N., Machida, S., & Shilbayashi, M. (1986). Computer Modeling of Scroll Compressor with Self Adjusting Back-Pressure Mechanism. *International Compressor Engineering Conference at Purdue*, Paper 576. <https://docs.lib.purdue.edu/icec>

- Verspagen, B. (2007). MAPPING TECHNOLOGICAL TRAJECTORIES AS PATENT CITATION NETWORKS: A STUDY ON THE HISTORY OF FUEL CELL RESEARCH. *Http://Dx.Doi.Org/10.1142/S0219525907000945*, 10(1), 93–115. <https://doi.org/10.1142/S0219525907000945>
- Wang, B., Li, X., & Shi, W. (2005). A general geometrical model of scroll compressors based on discretional initial angles of involute. *International Journal of Refrigeration*, 28(6), 958–966. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2005.01.015>
- Wang, B., Shi, W., Li, X., & Yan, Q. (2008). Numerical research on the scroll compressor with refrigeration injection. *Applied Thermal Engineering*, 28(5–6), 440–449. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.05.012>
- Wang, X., Hwang, Y., & Radermacher, R. (2008). Investigation of potential benefits of compressor cooling. *Applied Thermal Engineering*, 28(14–15), 1791–1797. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2007.11.010>
- Wang, X., Hwang, Y., & Radermacher, R. (2009). Two-stage heat pump system with vapor-injected scroll compressor using R410A as a refrigerant. *International Journal of Refrigeration*, 32(6), 1442–1451. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2009.03.004>
- Web of Science Core Collection*. (n.d.). Retrieved July 23, 2021, from <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>
- Winandy, E. L., & Lebrun, J. (2002). Scroll compressors using gas and liquid injection: experimental analysis and modelling. *International Journal of Refrigeration*, 25(8), 1143–1156. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(02\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(02)00003-8)
- Winandy, E., Saavedra O, C. S., & Lebrun, J. (2002). Experimental analysis and simplified modelling of a hermetic scroll refrigeration compressor. *Applied Thermal Engineering*, 22(2), 107–120. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(01\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(01)00083-7)
- Ziedonis, R. H. (2004). Don't fence me in: Fragmented markets for technology and the patent acquisition strategies of firms. *Management Science*, 50(6), 804–820. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0208>
- Ziviani, D., Gusev, S., Lecompte, S., Groll, E. A., Braun, J. E., Horton, W. T., van den Broek, M., & De Paepe, M. (2016). Characterizing the performance of a single-screw expander in a small-scale organic Rankine cycle for waste heat recovery. *Applied Energy*, 181, 155–170. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.048>