Evolución de las escaleras mecánicas: divergencia entre los diseños teórico y real

The evolution of the escalators: divergence between theoretical and real design

Juan-David Cano-Moreno y José-María Cabanellas-Becerra

Universidad Politécnica de Madrid (España)

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/8036

La escalera mecánica pertenece al sector industrial del transporte vertical de personas que comprende una amplia variedad de medios. Entre los principales sistemas que responden a este campo, se encuentran las escaleras y pasillos mecánicos, los ascensores verticales o inclinados, las pasarelas de embarque o fingers empleadas en los aeropuertos, los teleféricos, los telesillas y otros más conceptuales como son los *skyhooks* y los ascensores espaciales. Se han representado en la Fig. 1.

Los autores comenzaron una línea de investigación para la búsqueda de la innovación radical en el sector de escaleras y pasillos mecánicos donde el mercado marca un mayor riesgo de convertirse en *commodity*, con el objetivo de evitar esta situación de línea muerta para las empresas del sector.

Para comenzar se realizó un exhaustivo análisis de patentes para conocer la evolución técnica de los diseños en este sector.

En este análisis, se encontró que los primeros diseños fueron patentados hace más de 150 años, por lo que la innovación en este sector podría suponer un gran reto. Como dice Basberg [1] las invenciones existentes de un campo o sector pueden dividirse en:

- Patentes (P)
- Innovaciones (I), invenciones que llegan a explotarse comercialmente
- Resto, invenciones que no son ni patentes ni han llegado a explotarse comercialmente.

Dado que se pretende catalizar la innovación en un sector, se ha considerado indispensable conocerle mejor en dos aspectos principales:

- Permeabilidad entre los diseños teóricos y reales (conjunto
- Grado de evolución del sistema.

En la literatura se definen varios indicadores para representar el grado de evolución de un sistema [1] [2] [3], describiendo distintos patrones de evolución [4] que permiten situar y predecir la posible evolución de un sistema técnico. La curva de la S [5], muestra las fases comunes a la evolución de diversas tecnologías.

La primera patente de unas escaleras mecánica data del año 1859, cuando Nathan Ames [6] patentó su denominada escalera triangular o rotatoria (*Revolving Stairs*) en Estados Unidos. Aunque este diseño no llegó a fabricarse, podría considerarse como el punto de inicio de la historia de las escaleras y pasillos mecánicos.

En 1892, Jesse Reno [7] patentó el primer *transportador sin fin* o *elevador* que era similar un pasillo móvil actual donde los peldaños eran plataformas de sección triangular curvadas que se desplazaban de forma continua sobre una cinta transportadora inclinada 25º capaz de cambiar el sentido de la marcha. Cada escalón poseía los actuales peines en la zona de salida y entrada de peldaños. Esta escalera mecánica fue la primera que se puso en funcionamiento, denominándose *El elevador inclinado* [8]. Esta escalera fue instalada en Nueva York [9] y en Manhattan en 1896.

Otro de los inventores que estuvo presente en los inicios de las escaleras mecánicas fue George Wheeler [7], que patentó en 1892 una escalera mecánica con los escalones planos que se desplazaban junto a una balaustrada.

También destacaron otros autores por sus diseños innovadores desarrollados al final del siglo XIX, como son Leamon Souder [13] y Charles Seeberger [11].

Hoy en día podemos encontrar escaleras y pasillos mecánicos en diferentes lugares como centros comerciales, estaciones subterráneas, aeropuertos, etc. El diseño básico empleado no ha variado respecto a los patentados hace más de un siglo.

Sin embargo, sí que existen un gran número de patentes de diseños muy distintos del tradicional: a continuación se realizará un recorrido histórico-tecnológico cualitativo que nos permitirá conocer la evolución de las escaleras mecánicas durante los más de 150 años de su historia.

Por otro lado, se monitorizará y valorará de forma cuantitativa la evolución de

Fig. 1: Principales sistemas incluidos en el transporte vertical de personas

este sector a lo largo del tiempo mediante la construcción de curvas basadas en el número de patentes por año de los sectores relacionados con las escaleras mecánicas.

1. CRONOLOGÍA DE IDEAS INNOVADORAS

Para seguir la evolución del diseño de escaleras y pasillos mecánicos, se han construido dos ejes cronológicos dónde se representarán algunas de las ideas más innovadoras relacionadas con escaleras mecánicas principalmente y también con pasillos mecánicos debido a su similitud de funcionamiento. Estos ejes cronológicos cubrirán todos los años de historia de las escaleras mecánicas. El primero de ellos, va desde los orígenes de las escaleras mecánicas, situado en 1859, hasta el año 1985. El segundo continuará hasta el año 2010. En la *Fig. 2* se recoge el primero de los ejes cronológicos.

En la introducción se han descrito los inicios relacionados con las escaleras mecánicas hasta que antes de finalizar el siglo XIX, G. Wheeler patenta una escalera mecánica [12] con peldaño que puede considerarse similar a la actual. En estos años, la forma bidimensional de las escaleras mecánicas evolucionó adoptando recorridos tridimensionales, gracias a que los peldaños no volteaban y servían tanto para subir como para bajar. Así, se patentó un tipo de escaleras mecánicas con formas innovadoras en forma de C, en espiral y las denominadas "paternoster" [13, siendo el inventor pionero de este tipo de escaleras Charles David Seeberguer. También en esta época se empezó a dinamizar el diseño básico apareciendo una patente de escalera con velocidad variable [14] (1902).

En la línea de la escalera mecánica clásica, se mejoró la definición de las partes del diseño ya establecido, convergiendo al diseño que hoy día es tan usado en todo el mundo, como muestra una patente del año 1923 [15]. Una vez consolidado el diseño comercial básico de las escaleras mecánicas, se hicieron mejoras que permitieron un ahorro en el transporte e instalación de las mismas, apareciendo un siglo después de los inicios, las guías autoportantes [16]. En la *Fig. 2*, puede observarse además que en la segunda mitad del siglo XX, es cuando se patentó uno de los primeros pasillos mecánicos de velocidad variable [17] que permiten reducir el tiempo de viaje en aeropuertos y zonas donde el usuario tiene que recorrer largas distancias. En esta época se empieza a buscar formas de mitigar los riesgos de atrapamientos y se publican las primeras patentes que incluyen en el diseño de la escalera mecánica tradicional un zócalo móvil [18], que elimina la velocidad relativa entre el peldaño y el zócalo, algo que no se había abordado hasta ahora.

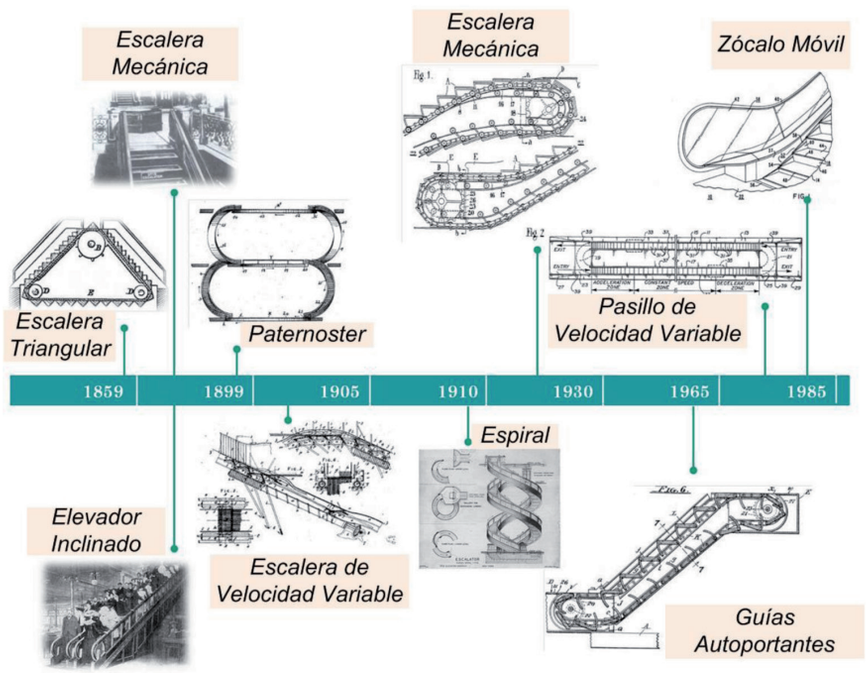

Fig. 2: Evolución de las escaleras mecánicas hasta el año1985

En la *Fig. 3* se muestra el segundo eje cronológico, que ilustra los diseños patentados más actuales. En sus comienzos destacan un gran número de patentes relacionadas con la optimización de partes de las escaleras y pasillos mecánicos (flexibilización de la contrahuella [19], longitud variable de la cadena de accionamiento [20], disminución de espacio en el volteo [21], etc.).

Poco después del año 2000 destaca la solicitud de patentes [22] [23] en las que se hace modular la escalera mecánica pudiendo recorrer espacios tridimensionales, aumentando las posibilidades que tenían las denominadas anteriormente "paternoster". Siguiendo la línea de eliminar el atrapamiento del usuario entre el peldaño y el zócalo, un nuevo diseño de zócalo móvil [24] vuelve a aparecer integrado en un diseño nuevo de escalera mecánica a comienzos del siglo XXI.

La tendencia en cuanto a seguridad representada por el zócalo móvil, vuelve a aparecer 10 años más tarde en un diseño innovador y completo de una escalera mecánica [25]que además incluye una disminución del número de guías y de eslabones de cadena respecto a la escalera mecánica clásica, buscando así optimizar también su coste.

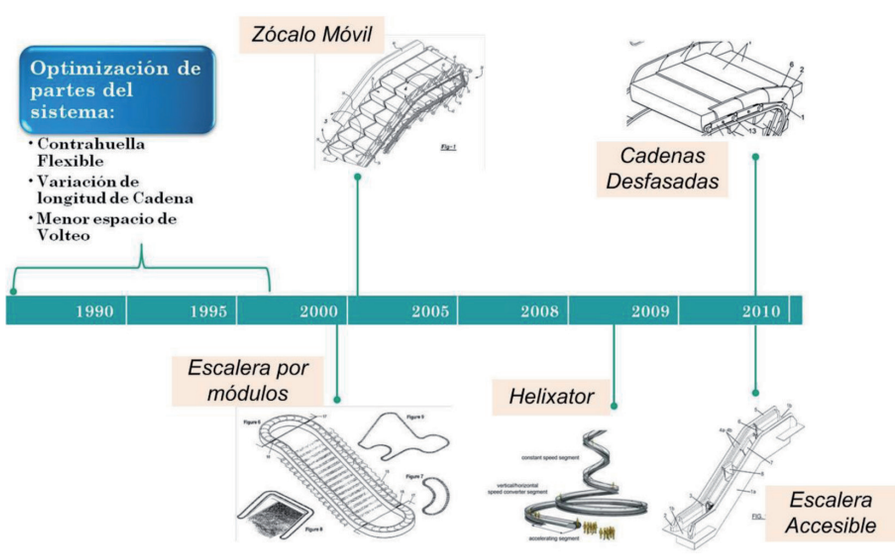

Fig. 3: Evolución de las escaleras mecánicas desde el año1985

A continuación se muestran algunos diseños que pueden considerarse como una auto-evolución del sistema, con cambios sustanciales respecto al diseño básico y comercial de escalera mecánica, y que pretenden en general mejorar las funcionalidades y las prestaciones de este tipo de transporte, empleando la accesibilidad como requisito de diseño.

El primero que se muestra, el helixator, que data del año 2009, destaca como innovación en el campo del transporte vertical. Es un diseño de un pasillo helicoidal [26]que pretende competir con la función de un ascensor al tener mayor capacidad de carga y ser continuo.

En esta línea, junto con la búsqueda de la seguridad y sobre todo de la accesibilidad, encontramos en el año 2010 una plataforma elevadora [27], denominada en la figura *Escalera Accesible*, que gracias a la posibilidad de anidamiento entre plataformas, permite un transporte vertical accesible como un ascensor pero con una capacidad de carga mayor.

Analizando la literatura, encontramos que es realmente baja la permeabilidad existente entre las ideas patentadas y los diseños que han llegado a construirse en la realidad. La complejidad mecánica, coste inicial y de mantenimiento parecen razones suficientes como para que diseños tan innovadores como los relativos a escaleras tridimensionales (paternoster, escalera por módulos) no lleguen a ser competitivos con el diseño de escalera bidimensional tradicional. En estos diseños en los que se emplean los mismos peldaños para subir que para bajar, existe el problema adicional de la no independencia de los tramos de subida y bajada, así si un tramo debe pararse, se pararían los dos. El diseño de escalera mecánica de velocidad variable no permitiría con el mismo grado de seguridad la funcionalidad del diseño básico de poder subir o bajar andando. El uso de zócalo móvil disminuiría el riego de atrapamiento entre el peldaño y el zócalo actual fijo, pero aún no está técnicamente integrado para dar el mismo grado de seguridad en la zona de embarque y desembarque o zona de peines.

Otros diseños más cercanos al momento actual y que suponen un cambio sustancial del diseño básico, como son el helixator o la denominada escalera accesible, llevan poco tiempo patentados para poder valorar su permeabilidad al mundo real, aunque sí marcan un cambio de necesidades, incluyendo el ahorro de tiempo para el pasajero junto con la accesibilidad como criterio de diseño.

Destacan dos diseños innovadores que están funcionando actualmente:

Escalera mecánica en espiral. Desde las primeras patentes cerca del año 1900 [28], la idea de una escalera mecánica espiral o curvada no ha sido comercializada hasta mediados de 1980, siendo la primera escalera mecánica a la que se le ha dado un uso práctico la instalada en 1985 en Osaka (Japón). Esta escalera corresponde a un modelo de *Mitsubishi Electric Corporation*, que es la compañía que más éxito ha tenido en este tipo de escaleras. En la actualidad no son muy comunes este tipo de escaleras, una que puede verse en el Palacio Caesar en Las Vegas. En este caso, posee un claro el efecto estético de esta escalera en un sitio emblemático, la funcionalidad de las mismas podría haberse conseguido mediante una combinación de escaleras o pasillos mecánicos y ascensores.

Pasillo móvil de velocidad variable. Existen pocas unidades que hayan sido instaladas. En París, en la estación de Montparnasse-Bienvenüe, se instaló un pasillo de aceleración [29] que alcanzaba los 3.35 m/s, que fue retirado a pesar de ser rediseñado para una velocidad máxima de 2.68 m/s, debido a que hubo caídas de pasajeros. En el aeropuerto de Toronto (Canadá) existe una unidad de pasillo de aceleración funcionando. La velocidad máxima de diseño es de 2m/s, y el sistema de accionamiento es completamente distinto al del metro de París. Este permite reducir el tiempo de viaje del pasajero de forma considerable.

2. CURVAS DE INNOVACIÓN Y EVOLUCIÓN

Para obtener una valoración cuantitativa sobre la evolución de las escaleras y pasillos mecánicos, se ha analizado su evolución a partir del año 1900. Para esto ha seleccionado el número de patentes como indicador tecnológico y se ha realizado un estudio sobre las patentes relacionadas con las escaleras mecánicas y pasillos móviles [40] [41]. Los datos se han extraído de la página de la Oficina Española de Patentes y Marcas [42], que incluye más de 80 países en sus bases de datos.

Se han seleccionado 6 grupos que están directamente relacionados con escaleras y pasillos mecánicos:

1. **B66B21**. Tipos
2. **B66B23**. Componentes
3. **B66B25**. Sistemas de control.
4. **B66B27**. Condiciones de funcionamiento de escaleras mecánicas y pasillos móviles.
5. **B66B29**. Dispositivos de seguridad.
6. **B66B31**. Accesorios.

En estos 111 años aparecen unas 8500 patentes clasificadas según los grupos anteriores, un 15% de las englobadas en el grupo **B66B** (ascensores, escaleras mecánicas y pasillos móviles), cerca de 57000. Con estos valores se puede interpretar que existe un gran porcentaje de patentes relacionadas con el transporte vertical que no están relacionadas con las escaleras mecánicas y los pasillos móviles.

Se ha realizado una exhaustiva recopilación de datos de patentes entre 1900 y 2010, de cada una de los 6 tipos de patentes. La evolución de cada grupo de patentes, se ve en dos curvas. La primera curva, representada en la *Fig. 4*, corresponde al número de patentes/año de cada grupo, que mide la velocidad de creación de patentes, que da una idea de qué épocas han sido más fructíferas desde un punto de vista de la invención.

En esta curva se observa que la invención en cada grupo varía según el año de forma distinta, desmarcándose los componentes al acercarnos a la actualidad; también destaca un máximo local de casi todos los grupos entorno al año 1974.

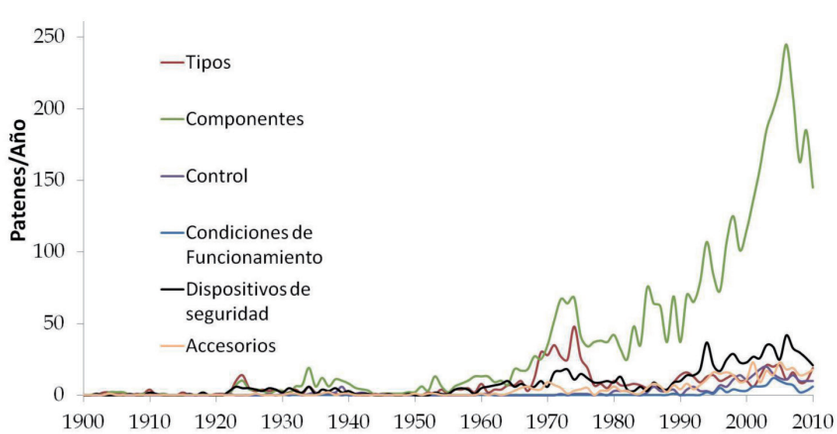

Fig. 4: Velocidad de patentes entre 1900 y 2010

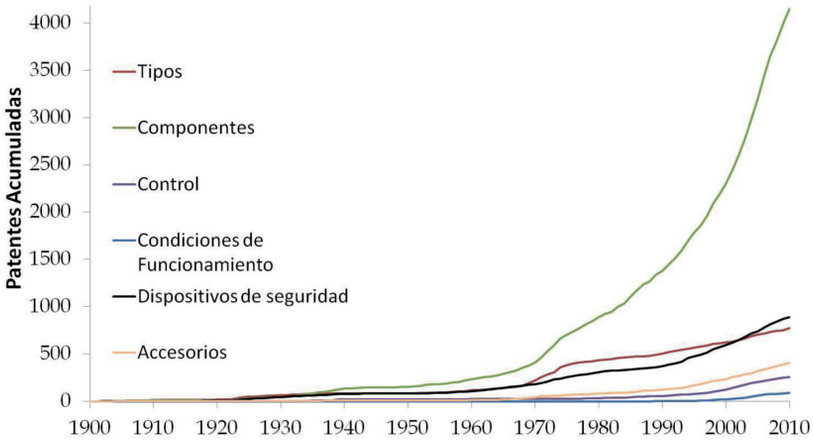

Fig. 5: Patentes acumuladas entre 1900 y 2010

Como puede observarse en la *Fig. 4*, en los primeros años representados hay un mayor crecimiento de los tipos de escaleras mecánicas y componentes, pasando a predominar el grupo de patentes de componentes a partir de los años `70. También se observa que en los últimos 20 años analizados existe un aumento de velocidad en el sector de los dispositivos de seguridad y en los accesorios. Las patentes relativas al control y a las condiciones de funcionamiento poseen un ligero aumento en los últimos 10 años.

En la segunda curva, se ha representado el número de patentes acumuladas desde el año 1900 hasta cada año. Esta curva puede considerarse que describe la evolución de los grupos asociados al del sistema estudiado.

En la *Fig. 5* se puede observar que la curva de evolución del grupo de componentes es la que más crece desde un punto de vista de valor absoluto, alcanzando las 4000 patentes, y también es la que presenta una mayor pendiente y, por tanto, es previsible que siga siendo el grupo que más crezca en los próximos años.

Después de analizar la *Fig. 5* de forma cualitativa y valorando los estadios de evolución según se definen en la curva de la S [6] [7], se tiene que:

1. Los componentes y los accesorios se encuentran en estado de crecimiento, siendo mayor el de los componentes.
2. Los tipos de escalera mecánica siguen creciendo, pero de forma sostenida.
3. El resto, relativo a los dispositivos de control, condiciones de funcionamiento y dispositivos de seguridad se encuentran en su estado de madurez. Los dos primeros se encuentran en un estado más avanzado que el tercero.

3. ANALISIS Y CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el análisis cualitativo y cuantitativo de patentes puede deducirse que sí ha habido actividad inventiva en el sector de escaleras mecánicas y pasillos mecánicos, variando de forma distinta para cada uno de los grupos de patentes estudiados. En la *Fig. 6* se ha representado el número de patentes acumuladas para cada uno de los grupos analizados de forma relativa y en porcentaje para cada año.

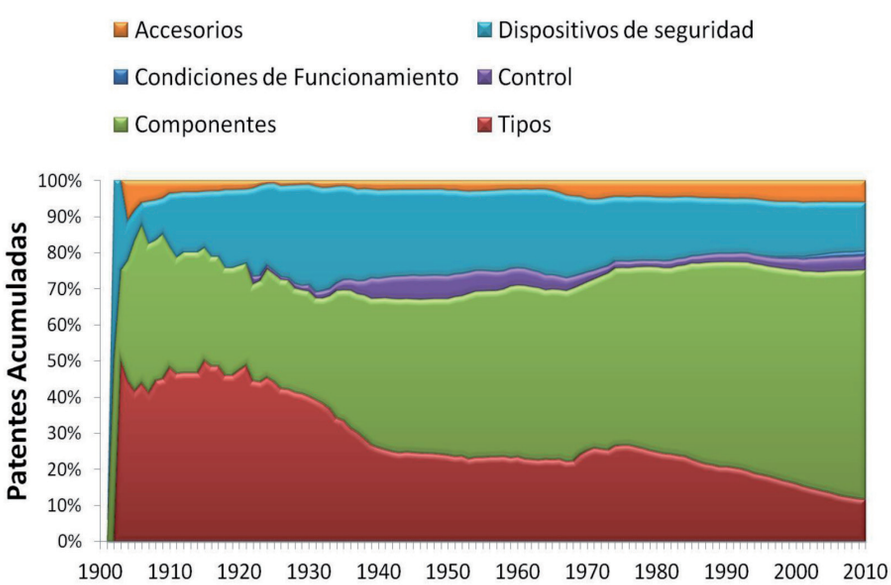

Fig. 6: Porcentaje relativo de patentes acumuladas por grupos

De esta figura se deduce que, en términos relativos, el grupo de componentes ha ido aumentando, a medida que han ido decreciendo los grupos de tipos de escaleras y pasillos mecánicos y de dispositivos de seguridad. También puede observarse que en los comienzos de este periodo de estudio casi no estaban presentes los accesorios y no lo estaban los dispositivos de control. Los accesorios aumentan con el tiempo su importancia relativa mientras que los dispositivos de control aparecen y se mantienen en un porcentaje bajo y bastante constante. Los dispositivos de seguridad siempre han presentado una importancia considerable, aunque disminuye su importancia relativa hasta hacerse prácticamente constante en más del 10%. También podría destacarse que el grueso del 70% lo cubren casi de forma constante la suma de los grupos de tipos y componentes.

Si analizamos el número total de patentes, fijándonos en los datos de 2010, el mayor número de patentes corresponde al grupo de *Componentes de escaleras mecánicas y pasillos móviles*. Después, con casi 4 veces menos de importancia, le siguen los dispositivos de seguridad y, algo más retrasado, los tipos de escaleras mecánicas y pasillos móviles Los otros tres, apenas suponen el 12% del total.

Así, este sistema de transporte vertical, está convirtiéndose en un producto *commodity*, que son aquellos que, entre distintos fabricantes, solo se diferencian en el precio. El grado de evolución del diseño, si se toma como indicador tecnológico las patentes (cualitativa y cuantitativamente) de este sector, es muy distinto a la curva de evolución del diseño empleado en la realidad, que lleva más de 100 años estancado. Podemos decir, así, que los diagramas correspondientes a las patentes e innovaciones, según la representación de Basberg [1], poseen un conjunto común muy pequeño después de 150 años. Esto supone que la mayoría de las invenciones, que han sido registradas como patentes, no han llegado a comercializarse, es decir, no son innovadoras.

De esta falta de correlación entre las invenciones existentes y las comercializadas puede deducirse que las invenciones

de las patentes relativas a escaleras mecánicas analizadas no superan los requisitos de diseño necesarios, desde un punto de vista comercial o de explotación del producto.

Para poder enfrentarse al reto de la búsqueda de la innovación radical en un sector con escasa evolución o permeabilidad entre la teoría y el mundo real, los autores proponen dos líneas principales [30]:

- Empleo de técnicas de creatividad para automatizar el proceso de generación de ideas (e.g. *brainstorming*, TRIZ), así como de métodos para la valoración objetiva de las ideas generadas (e.g. matrices de decisión).
- Empleo de técnicas de simulación para la comprobación de diseños nuevos, análisis de diseños existentes y como vía para la optimización, evitando el coste que suponen estas tareas con prototipos reales.

PARA SABER MÁS

[1] Basberg B.L. "Patents and the Measurement of Technological Change: A Survey of the Literature". Research Policy.1987. Vol. 16-2, p.131-141.

[2] Pavitt K. "Uses and Abuses of Patent Statistics". En: van Raan A.F.J. (ed). Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology. Amsterdan: Elsevier Science Publishers, 1988. p. 509-536.

[3] Schmookler J. Invention and economic growth. Cambridge: Harvard University Press, 1966. 332p. ISBN: 978-06-744-6400-1.

[4] Altshuller G. Introducción a la innovación sistemática: TRIZ (de pronto apareció el inventor). Vicente-Gomila J.M. (trad.). Valencia: Internet Global, 1997.294 p. ISBN: 84-605-6774-5.

[5] Nieto M, Lopez F, Cruz F."Performance analysis of technology using the S curve model: the case of digital signal processing (DSP) technologies".Technovation. Enero 1998. Vol. 18-6, p. 439-457.

[6] Ames N. Revolving Stairways. Estados Unidos. US25076-A. 1859–08-09.

[7] Miravete A, Larrodé E."Escaleras Mecánicas y Andenes Móviles". Elevadores: Principios e Innovaciones. España: Servicio de Publicaciones, Centro Politécnico Superior. Universidad de Zaragoza, 2007. p. 285-383.

[8] For escalators and More [en línea]. Disponible en Web: <http://www.escalate.co.uk/History_of_Escalators.htm>. [Consulta: 12 de Febrero de 2013].

[9] Wikipedia. The Free Encyclopedia [en línea]. Disponible en Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Escalator>. [Consulta: 10 de Febrero de 2013].

[10] Souder L. Escalier Mobile. Francia. FR330546. 1903-08-20.

[11] Seeberger ChD. Aufzug mit endloser, spiralförmiger Transportbahn. Chicago. AT2031-B. 1900-08-25.

[12] Wheeler GA. Elevator. Estados Unidos. US682513-A. 1901-09-10.

[13] ANCIENS ETS GROSSELIN. Moving staircase of the ascending and descending type. Inventores: Hocquart E, Hugoniot E.. Estados Unidos. US1668644. 1928-05-08.

[14] Ratcliffe AB, Yorath LW. Improvements in Passenger Elevators and Conveyors. Reino Unido. GB190218504.1903-07-02.

[15] OTIS ELEVATOR CO. Improvements in and relating to escalators and endless conveyors of the step or section type. GB186347. 1923-10-11.

[16] Coryell F. Portable escalator. Estados Unidos. US3033340. 1962-05-08.

[17] BOEING CO. Accelerating and decelerating moving walkway. Inventores: Dunstan PE,Shapiro S. Estados Unidos. US3939959. 1976-02-24.

[18] RHEINSTAHL EGGERS-KEHRHAHN GMBH. Escalator step of step belt - limiting walls projecting upwards beyond foot plates are pivot supported and are raised and lowered according to step movement. Inventor: Heinz-Schwerdtfeger K. Alemania. DE2346266. 1975-03-20.

[19] Minoru T. Japón. JP1242389. 1988.

[20] OTIS ELEVATOR CO. Escalator with vertical planar step risers and constant horizontal velocity. Inventor: Sansevero FM. Europa. EP0424209-B2. 1991-04-21.

[21] TOSHIBA KK. Passenger conveyor apparatus. Inventores: Hirai M, Ogimura Y, Hara K et al. Europa. EP1095896-B1. 2001-05-02.

[22] Levy JC, LEVYTATOR LIMITED. Escalator for negotiating curves. Inventor: Levy JD. Estados Unidos. US6899216-B2. 2001-12-05.

[23] Grimm F, Timokhov A. Escalator installation has endless conveyance surface for upwards and downwards movement and comprises horizontal and inclined sections together with individual step. Alemania. DE10055982-A1. 2002-06-13.

[24] OTIS ELEVATOR CO. Escalator with Step Flange. Inventores: Hauer U, Stuffel A, Ostermeier J et al. WIPO. WO0244071.2002-06-06.

[25] THYSSENKRUPP ELEVATOR INNOVATION CENTER SA, THYSSENKRUPP ELEVATOR ES/PBB GmbH. Escalera mecánica. Inventores: Cabanellas-Becerra JM, Cano-Moreno JD, Gonzalez-Alemany MA et al. España. ES2319082-B1. 2010-03-16.

[26] Future of Transportation [en línea]. Disponible en Web: <http://helixator.wordpress.com/>. [Consulta 16 de Enero de 2013]

[27] THYSSENKRUPP ELEVATOR INNOVATION CENTER SA. Sistema de transporte para pasajeros/mercancías. Inventores: González-Fernández E, Ros-Zuazua P, González-Alemany MA et al. España. ES2353289-B1. 2011-03-01.

[28] Souder LG. "Improvements in Movable Spiral Stairways or Elevators". Estados Unidos. GB190306796.1903-05-14.

[29] The Transport Politic [en línea]. Disponible en Web: <http://www.thetransportpolitic.com/2009/05/21/paris-experimental-high-speed-moving-walkway-is-abandoned/>. [Consulta 25 de Enero de 2013].

[30] Cano-Moreno JD. Metodología para la modelización, validación, y diseño innovador de los sistemas multicuerpo del transporte vertical de personas. Alicante: 3CIENCIAS, 2013.286p. ISBN: 978-84-940352-6-5

MATERIAL SUPLEMENTARIO

http://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/8036-1.pdf