Diseño de un dispositivo de alumbrado sostenible bajo el paradigma Holónico

Design of a sustainable streetlamp under Holonic paradigm

María-Jesús Ávila-Gutiérrez, Juan-Ramón Lama-Ruiz y Francisco Aguayo-González
Universidad de Sevilla. Escuela Politécnica Superior (España)

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/9326

El alumbrado público tiene por objeto la creación de un ambiente visual nocturno que permita una visibilidad clara e identificación precisa de las personas y objetos en las vías transitadas, permitiendo además una mayor y fácil utilización de los servicios y usos existentes [1].

En los últimos años se están llevando a cabo grandes inversiones por parte de los Ayuntamientos para dotar, renovar y mejorar la insuficiencia de estos servicios de acuerdo con las especificaciones de normas y recomendaciones de carácter internacional.

En el presente documento se desarrolla un nuevo modelo de dispositivo de alumbrado público que cumpla al mismo tiempo con objetivos basados en la sostenibilidad desde sus tres puntos de vista: (1) económico: beneficiando a ayuntamientos en la reducción de costes y eficiencia energética; (2) social: mejorando la imagen pública de parques, ciudades y entorno urbano en general así como la calidad de los servicios al ciudadano y su interacción con el producto y (3) ambiental: minimizando la contaminación lumínica, disminuyendo las emisiones y favoreciendo el uso de las energía renovables.

1. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE METODOLOGÍAS DE DISEÑO SOSTENIBLE APLICADA A MOBILIARIO URBANO

La investigación llevada a cabo sobre metodologías basadas en diseño de productos con criterios sostenibles se ha realizado mediante la búsqueda de bibliografía literaria científica en bases de datos especializadas, que abarcan todas las disciplinas de la ingeniería. Debido a la ausencia de una metodología estructurada que nos permita el diseño de productos sostenibles, se ha optado por la elaboración de un marco metodológico de referencia, basado en metodologías existentes y que a continuación se detallan.

1.1. METODOLOGÍAS DE REFERENCIA

Se han tomado como punto de partida cuatro metodologías de diseño basándonos en su uso en las etapas tempranas del proceso de diseño y desarrollo de productos industriales (PDDPI) [2] y en su integración con la sostenibilidad [3]. Todas ellas presentan un especial interés para la elaboración de una nueva metodología de diseño integrada y sostenible para su aplicación al mobiliario urbano.

1.1.1. Metodología QFD

QFD es el acrónimo de Quality Function Deployment o despliegue de la función de calidad. Fue desarrollado por Yogi Akao y se utiliza para medir y garantizar la calidad del producto y proceso, además de su integridad. QFD crea un seguimiento en todas las fases y actividades mediante un encadenamiento de necesidades, requerimientos funcionales y soluciones [4]. Edgeman [5], considera los conceptos de desarrollo sostenible, excelencia empresarial y despliegue de funciones de calidad para el desarrollo de productos, y trata la metodología QFD como vehículo que implementa el concepto unificado de excelencia de la calidad. Esta técnica, además ha sido usada en numerosas ocasiones como enfoque en el diseño conceptual de productos, o desde el punto de vista "fuzzy" como facilitador de la sostenibilidad.

Es una metodología útil en la fase temprana de diseño conceptual del producto. Es fácil de aplicar al mismo tiempo que muy potente para conocer las necesidades de los usuarios y transmitirlas al producto final. Disminuye el tiempo de ciclo del diseño y desarrollo del producto, mejora la calidad del producto y proceso y permite la integración de la sostenibilidad a través de sus matrices [6]. Su problema radica en su implantación y en las dificultades de cálculo en cada uno de sus pasos. Por el contrario, una mala traducción o formulación de las necesidades acabaría con el diseño final del producto, por lo que es recomendable usarla de forma conjunta con otras técnicas.

1.1.2. Metodología de Diseño Axiomático

El diseño axiomático (DA) es un principio general para análisis y síntesis de diseño desarrollado por el profesor Nam P. Suh del MIT para mejorar las actividades de diseño. Se basa en dos axiomas fundamentales: independencia de los requerimientos funcionales y el axioma de mínima información donde se pretende minimizar el contenido de la información del diseño entendiendo, por tanto, que el mejor diseño será aquel que contenga menor complejidad y por lo tanto menos información. DA consta de varios dominios que van de las necesidades hasta las variables del proceso (VPs) pasando por los requerimientos funcionales (RFs) y los parámetros de diseño (PDs). La facilidad para comprender las relaciones entre los diferentes requerimientos y parámetros se representa por matrices, que representan la calidad del sistema [7].

Entre los aspectos relevantes del método se encuentran los axiomas y corolarios, la arquitectura del sistema de zigzagueo, y la identificación de debilidades de diseño (vulnerabilidades representadas por acoplamientos, o sea, interacciones en los PDs necesarios para cubrir los RFs). Tal y como hemos mencionado anteriormente, el DA es una metodología que se complementa con QFD para el diseño conceptual de productos [8]. Esta herramienta tiene un proceso matemático complejo, pero permite la evolución de necesidades, RFs y PDs con el proceso de zigzagueo. Su uso adecuado es en la fase de diseño conceptual y de detalle del producto, pero no asegura conseguir una solución de diseño innovadora. De ahí su uso conjunto con la metodología TRIZ [9].

1.1.3. Metodología de TRIZ

TRIZ (Teoría de Resolución de problemas Inventivos) es una metodología creada por Genrich Altshuller para la innovación, que nos permite examinar los problemas, explorar el espacio de soluciones y generar ideas creativas [10]. TRIZ sirve para simplificar productos y procesos, resolver conflictos y contradicciones y crear nuevos productos. Entre sus métodos encontramos [10], la matriz de contradicciones basada en 39 parámetros y 40 principios inventivos que son resultados de las investigaciones de pa-

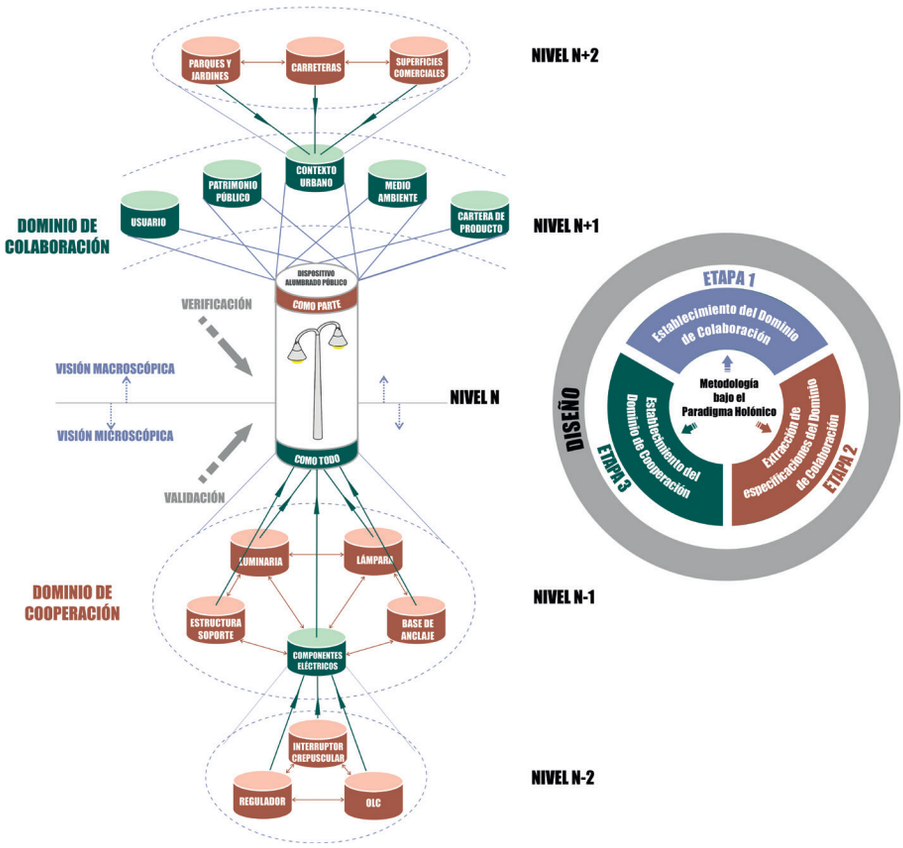


Fig. 1: Modelo formal y etapas de estudio para un dispositivo de alumbrado público

tentes realizadas por Altshuller. Este método es usado para resolver las contradicciones técnicas que se generan en los problemas de diseño de los productos. Además, entre otras técnicas encontramos: la solución final ideal, metodología sustancia-campo o el algoritmo ARIZ entre otras. Sus ámbitos de aplicación y su relación con otras metodologías son tales como los algoritmos genéticos, el diseño para seis sigma, la descomposición funcional [11] y el DA.

Esta metodología ayuda al PDDPI a generar resultados patentables en la etapa de diseño conceptual del producto. Además, permite generar soluciones de diseño creativas de forma sistemática. La herramienta por si sola requiere de otras herramientas que desarrollen las fases iniciales de diseño del producto.

1.1.4. Metodología de diseño Holónico

El diseño Holónico proviene de la evolución del término "holón". Este concepto fue acuñado por el escritor y filósofo Arthur Koestler para referirse a una unidad organizacional básica en sistemas físicos, psicológicos, biológicos y sociales tras un análisis de la complejidad en entidades bio-psico-sociales y culturales [12]. Un "holón" es una entidad que se relaciona con otras entidades u holones desde dos puntos de vista, es por ello, que se considera bifronte (2 caras). Las relaciones con otras entidades de las mismas características son las llamadas holarquías. Los holones actúan en sistemas complejos y poseen muchas relaciones en sentido bidireccional. Esto hace que un "holón" pueda actuar en diferentes dominios tanto de colaboración (holón como parte de otros holones) como de cooperación (holón como un todo, constituyente de otros holones) [13].

Esta metodología trata de establecer un marco organizacional para un producto (holón). Permite organizarlo en diferentes niveles de concreción, así como manejar la complejidad y las relaciones de cada una de sus partes. Seleccionaremos esta metodología como marco integrador ya que permite dar una estructura y organización a todo el PDDPI y de organización del producto a diseñar por su conocimiento estructurado y por la posibilidad que ofrece para la integración de la sostenibilidad.

A continuación, estableceremos los pasos necesarios para el PDDPI sostenibles basados en el paradigma Holónico como metodología base y conductora de todo el proceso, que permite dar un marco estructurado y organizado, y con soporte de otras técnicas cuyas potencialidades se han explicado anteriormente. QFD transmite las necesidades del cliente al resto de etapas del diseño, el DA mediante sus axiomas y matemática estructurada, evoluciona el diseño a través de todas las etapas y TRIZ permite la generación de alternativas de diseño innovadoras para la selección de la solución final de diseño.

1.2. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología de Diseño Sostenible bajo el marco Holónico se estructura principalmente en tres niveles de estudio o concreción: (1) **Nivel N+1**. Dominio de Colaboración; (2) **Nivel N**. Dominio del producto objeto de diseño y (3) **Nivel N-1**. Dominio de Cooperación.

El modelo propuesto, así como las etapas de desarrollo quedan mostrados en la *Fig.1.* Los niveles pueden seguir desplegándose hacia arriba o abajo dependiendo del grado de concreción que se quiera desarrollar. En nuestro caso tenemos el producto, que es el dispositivo de alumbrado público en el nivel N. En el nivel N+1 tenemos los lugares posibles de actuación del producto. En este nivel trabajamos con el producto como parte de un conjunto de ámbitos de actuación como pueden ser el contexto urbano, el medio ambiente, los ayuntamientos, las empresas, ...etc., de los que se desprenderán los requerimientos funcionales del producto. Finalmente, el producto en el nivel N-1, es el producto como entidad compuesta de todos y cada uno de sus componentes, los cuales en base a la información de los requerimientos funcionales que provienen de cada ámbito de actuación, dan lugar al diseño de cada componente de forma adecuada y específica.

2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A UN PUNTO DE ILUMINACIÓN

Para la aplicación metodológica debemos de establecer las tres etapas mostradas en el modelo de la *Fig. 1.*

2.1. ETAPA 1. ESTABLECIMIENTO DEL DOMINIO DE COLABORACIÓN

Para formalizar cada uno de los dominios, hay que estudiar en primer lugar, cómo actúa nuestro producto como parte de diferentes dominios. La determinación de cada uno de los dominios nos vendrá dada por estudios bibliográficos y revisiones literarias previas. Entre los posibles dominios de actuación de nuestro producto (dispositivo de alumbrado público) podemos encontrar seis posibles como se muestra en la *Fig. 2.*

Una vez establecidos cada uno de los dominios que componen el Dominio de Colaboración (usuario, patrimonio público, contexto urbano, medio ambiente y cartera de productos), se procederá a la extracción de los requerimientos funcionales, mediante el uso de diferentes técnicas.

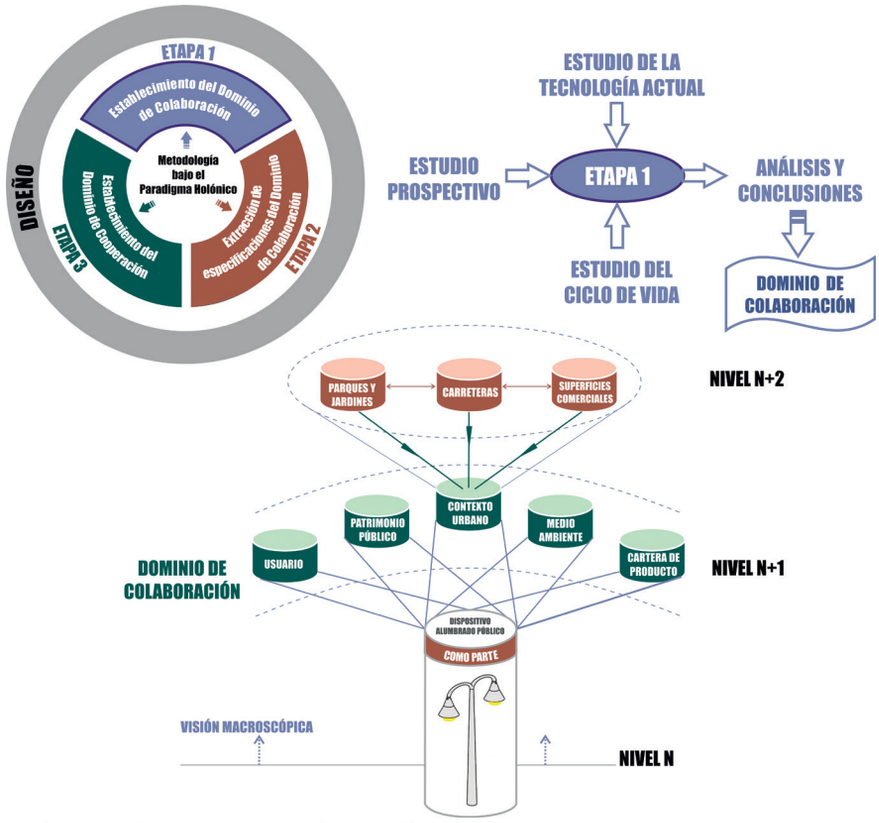


Fig. 2: Establecimiento del Dominio de Colaboración

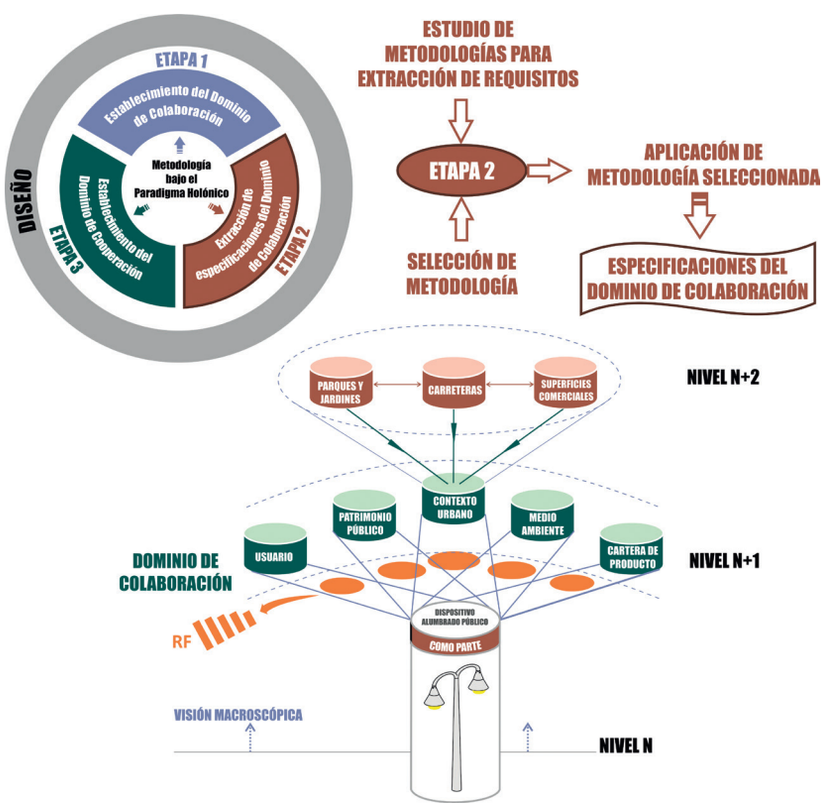


Fig. 3: Extracción de requisitos del Dominio de Colaboración

2.2. ETAPA 2. EXTRACCIÓN DE REQUISITOS DEL DOMINIO DE COLABORACIÓN

Para extraer los requisitos de cada uno de los dominios habrá que analizar cuáles son las técnicas adecuadas, y aplicarlas en cada uno de los dominios para obtener los requerimientos funcionales como se muestra en las *Fig. 3.*

Tras el desarrollo metodológico aplicado a cada dominio, tenemos: (1) Dominio de usuario: cuestionario cerrado; (2) Dominio de patrimonio público: método Delphi; (3) Dominio de contexto urbano: tormenta de ideas; (4) Dominio del medio ambiente: cuestionario telefónico y (5) Dominio de cartera de productos: cuestionario abierto.

Derivado del análisis anterior, los requisitos asociados al punto de iluminación son:

- **Optimización del consumo de energía**: Regulación del flujo automático; Usar lámpara de bajo consumo y Capacidad de acumular energía.
- **Facilidad en el control y diagnóstico**: Uso de herramientas informáticas.
- **Comodidad y confort visual**: Soportar diversos accesorios e Interacción hombre-producto.
- **Integración del diseño en el entorno**.
- **Seguridad:** Seguridad física ante efectos mecánicos; Seguridad física ante efectos eléctricos; Seguridad ante roturas; Seguridad en el entorno.
- **Reducción del impacto ambiental.** Reciclado de materiales; Fuente de energía más limpia; Evitar emisiones al medio ambiente y Evitar contaminación lumínica.
- **Fiabilidad y durabilidad:** Control en la temperatura; Resistencia ante la corrosión; Resistencia ante fuerzas externas; Acabado duradero y Facilidad en el mantenimiento

2.3. ETAPA 3. ESTABLECIMIENTO DEL DOMINIO DE COOPERACIÓN

El Dominio de Cooperación se establecerá en base a la acción conjunta de las metodologías de referencia estudiadas como son: QFD-Diseño Axiomático-TRIZ como se muestra en la *Fig. 4.*

Normalmente los productos y procesos son diseñados basándose en el conocimiento y en la experiencia del diseñador, sin embargo, para ingenieros con poca experiencia o conocimiento limitado, esto puede conducir a errores costosos. Derivado del estudio de metodologías de referencia y conociendo las potencialidades y carencias de cada una de ellas por separado, se ha considerado que las metodologías QFD, diseño axiomático y TRIZ pueden usarse de forma conjunta y ayudar al diseñador en las tareas de entender y tomar correctas decisiones de diseño.

El modelo desarrollado consta de los seis pasos que se muestran en la *Fig.5.* y que a continuación se detallan.

Paso 1: El comienzo de todo el PDDPI viene marcado por entender y extraer las necesidades del cliente para establecer los requisitos técnicos y funcionales del producto. Para transformar y materializar las necesidades de los clientes a requerimientos funcionales, usaremos el despliegue de la función de calidad (QFD-I), donde

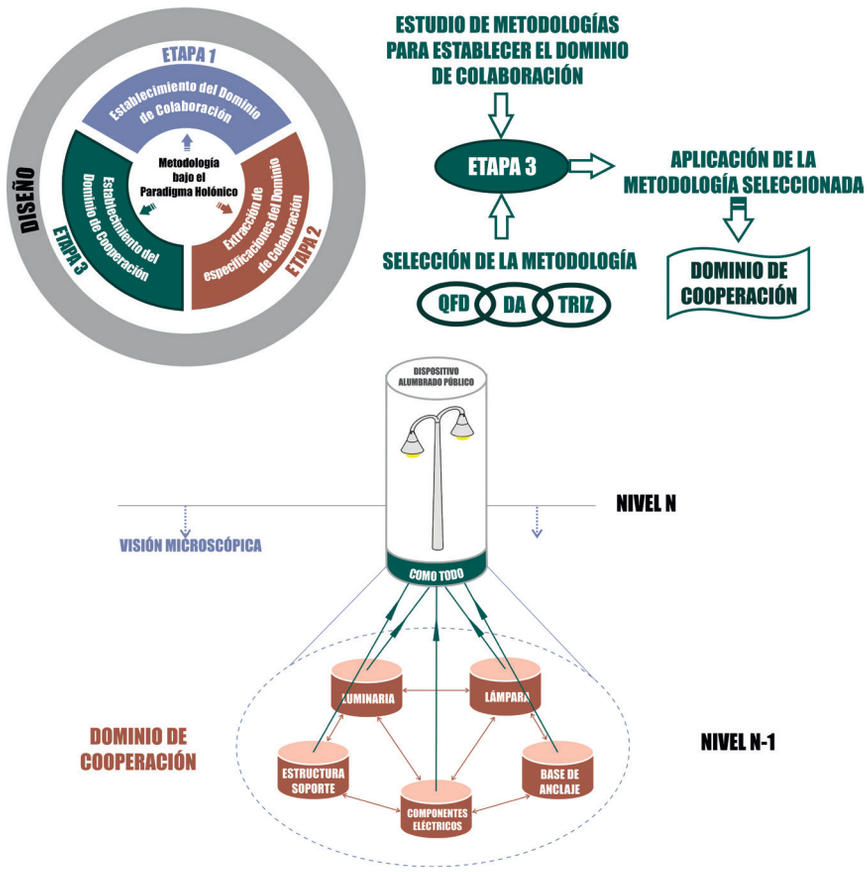


Fig. 4: Establecimiento del Dominio de Cooperación

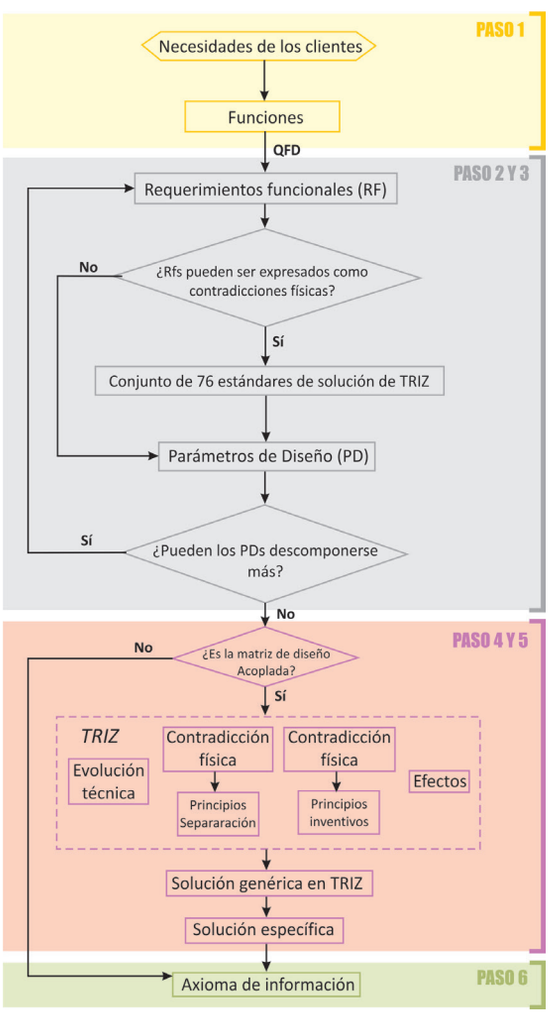


Fig. 5: Modelo de diseño usando QFD, DA Y TRIZ

enfrentando necesidades con funciones obtendremos las especificaciones de diseño del producto.

Paso 2: Cada función del producto analizada, tiene asociado un requerimiento funcional que cuantifica dicha función. Este requerimiento funcional pertenece al dominio funcional. El objetivo, una vez establecidos los requerimientos funcionales, es encontrar la forma física o parámetro de diseño con el que se satisface dicho requerimiento. Las soluciones al problema planteado en el Dominio funcional se plantean el Dominio físico en forma de posibilidades factibles que satisfacen los RFs y las restricciones planteadas. Estas soluciones planteadas se denominan parámetros de diseño, PDs. Para establecer los RFs en el Dominio físico usaremos la herramienta TRIZ. Los RFs pueden ser expresados en términos de TRIZ como contradicciones físicas o técnicas.

Paso 3: Determinados los RFs y los PDs, se crear una jerarquía descompuesta en niveles hasta que no sea factible descomponerlos más. A partir de los PDs del nivel 2 construiríamos los RFs del nivel 3, y así hasta definir totalmente las funcionalidades de cada una de las partes implicadas en el diseño, y la forma correcta de satisfacerlas.

Paso 4: Se aplica la metodología de DA formulando ecuaciones (por ejemplo: {RF} = [A] {PD}) en cada nivel de la jerarquía. La ecuación se clasificaría como acoplada, desacoplada o parcialmente acoplada.

Paso 5: Determinado el tipo de matriz en el paso anterior, se acepta el diseño si todas las matrices son desacopladas o parcialmente acopladas. Si alguna matriz de diseño es acoplada, se puede usar alguna herramienta propuesta por TRIZ para resolver el problema de diseño.

Paso 6: Aplicar el axioma de mínima información. Los conceptos potenciales de diseño han sido generados usando TRIZ con objeto de obtener una matriz de diseño desacoplada o parcialmente acoplada. Además de esto, la aplicación de este axioma garantiza que el diseño seleccionado o diseño óptimo debería ser aquel que posea menor complejidad o mejor información de diseño.

3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En base a lo estudiado anteriormente, la solución al diseño de un dispositivo de alumbrado público para parques y jardines, deberá constar de los siguientes puntos:

1) La regulación de energía se hará mediante interruptor crepuscular. Este se deberá colocar en un espacio habilitado a tal efecto por lo que se deberá tener en cuenta a la hora de diseñar el portaequipos.
2) Los dispositivos de bajo consumo empleados serán lámparas de tipo LED.
3) Para acumular la energía usaremos baterías colocadas bajo tierra para impedir su manipulación y evitar al mismo tiempo el impacto visual en el caso de que estuvieran visibles.
4) Sistema de telegestión para el diagnóstico de las instalaciones.
5) El dispositivo poseerá capacidad para soportar diversos accesorios como pancartas, sensores,...
6) Integración visual del diseño del dispositivo de alumbrado en parques y jardines usando colores, texturas y líneas adecuadas al entorno. Respecto a las formas nos basaremos en el diseño biónico. Por ser el lugar de emplazamiento un parque, el diseño podrá poseer forma

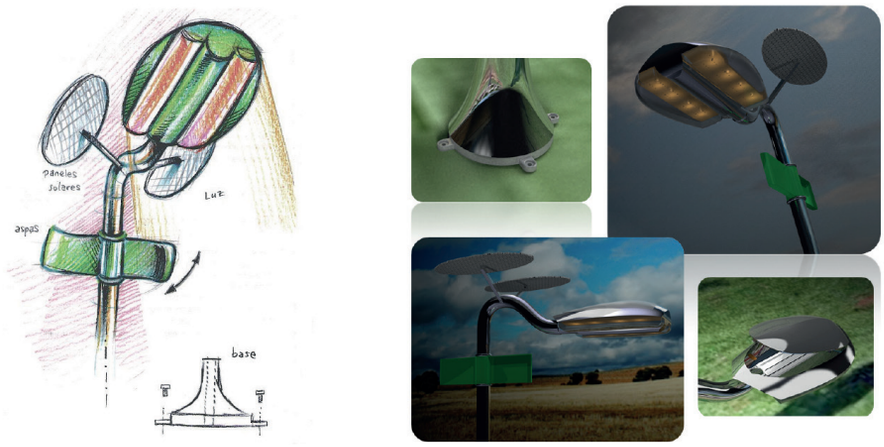


Fig. 6: Boceto inicial y diseño final

de algún tipo de insecto como puede ser una luciérnaga (por el sistema de iluminación autónoma), una libélula,...

7) Para el desalojo de calor del dispositivo, se puede optar en el diseño por aletas difusoras de calor o por disipadores incorporados a la lámpara.
8) La resistencia a las condiciones ambientales de la luminaria se puede solventar mediante juntas de estanqueidad.
9) Mediante el galvanizado o pinturas se proporcionará al diseño un acabado duradero.
10) El diseño de la luminaria favorecerá el mantenimiento, por lo que se intentará que en la luminaria deba existir un acceso a los dispositivos que se encuentren en su interior.
11) Todos los equipos electrónicos así como la colocación y adecuación de los mismos, deberán satisfacer las condiciones de seguridad establecidas.
12) Todos los materiales empleados para la fabricación deberán ser respetuosos con el medio ambiente.
13) En cuanto al aspecto sostenible, se considerarán energías renovables (e.g. solar, eólica...etc), así como la posibilidad de conexión a red.

Tras estas especificaciones de diseño conceptual y tras materializarlas en el diseño final para su fabricación, tenemos la solución de diseño para el dispositivo de alumbrado mostrado en la *Fig. 6.*

4. CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo descrito se puede concluir que se ha diseñado un punto de luz viable para instalación en parques y jardines totalmente autónomo. Este punto de luz tiene un diseño diferente de todos los otros puntos de luz existentes en el mercado, diseño marcado por su estética vanguardista y combinado con la utilización de dispositivos LED para el alumbrado de espacios públicos. Además tiene la posibilidad de conexión a la red eléctrica así como el uso de telegestión y capacidad de soportar diversos accesorios. Esta tecnología LED utilizada es factible ya que tiene un elevado rendimiento lumínico, debido al desarrollo tecnológico de este semiconductor.

De los datos examinados, se concluye que se han cumplido los objetivos marcados al inicio del proyecto y derivados de la problemática de integración de la sostenibilidad en el diseño cubriendo sus tres aspectos fundamentales: sociales, económicos y ambientales, de este dispositivo de alumbrado. La mayoría de las soluciones de diseño dan soporte al ámbito económico. En nuestro caso el diseño resuelve el aspecto económico, con su correspondiente ahorro energético, el aspecto ambiental con el uso de energías renovables solar y eólica y el aspecto social o de integración de los requerimientos de los usuarios y participación activa de la sociedad en cuanto al diseño del mismo.

Finalmente, se ha conseguido un diseño innovador gracias al uso de las metodologías de diseño estudiadas. El resultado final de este dispositivo de alumbrado público ha sido patentado bajo el título "Farola holónica Sostenible" y registrado como diseño industrial.

NOMENCLATURA

A continuación, se incluye una lista con los acrónimos utilizados en el presente trabajo.

PDDPI: Proceso de diseño y desarrollo de productos industriales
QFD: Despliegue de la función de Calidad (Quality Function Deployment)
DA: Diseño Axiomático
MIT: Instituto tecnológico de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology).
TRIZ: Teoría de Resolución de problemas Inventivos (Tieoriya Riesheniya Izobrietatielskij Zadach)
AHP: Proceso analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process)
ANP: Proceso analítico en red (Analytic Network Process)
RFs: Requerimientos Funcionales
PDs: Parámetros de diseño
VPs: Variables del proceso

REFERENCIAS

[1] HERNÁNDEZ, J.U.B., SEGURA, E.J.J.R. y JIMÉNEZ, J.A.B. Integration of topologies for public lighting and injection of electrical energy to the network from a photovoltaic panel. Pistas Educativas [en línea]. 2018, vol. 40, n.o 130 [consulta: 2019-07-05]. ISSN 2448-847X. Disponible en: http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1818
[2] AGUAYO GONZÁLEZ, F. y SOLTERO SÁNCHEZ, V.M. Metodología del diseño industrial : un enfoque desde la ingeniería concurrente [en línea]. S.l.: Ra-Ma, 2002 [consulta: 2019-07-05]. ISBN 9788478975327. Disponible en: http://www.ra-ma.es/libros/METODOLOGIA-DEL-DISENO-INDUSTRIAL-UN-ENFOQUE-DESDE-LA-INGENIERIA-CONCURRENTE/93/978-84-7897-532-7
[3] CLARK, G., KOSORIS, J., HONG, L.N. y CRUL, M. Design for sustainability: Current trends in sustainable product design and development. Sustainability [en línea]. 2009, vol. 1, n.o 3, pp. 409-424 [consulta: 2019-07-05]. ISSN 20711050. Disponible en: doi:10.3390/su1030409
[4] TERNINKO, J. Step-by-Step QFD : Customer-Driven Product Design, Second Edition [en línea]. S.l.: Routledge, 2018 [consulta: 2019-07-05]. ISBN 9780203738337. Disponible en: doi:10.4324/9780203738337
[5] EDGEMAN, R.L. y HENSLER, D.A. QFD and the BEST paradigm: deploying sustainable solutions. World Review of Science, Technology and Sustainable Development [en línea]. 2005, vol. 2, n.o 1, p. 49 [consulta: 2019-07-05]. ISSN 1741-2242. Disponible en: doi:10.1504/wrstsd.2005.006727
[6] DEVANATHAN, S., RAMANUJAN, D., BERNSTEIN, W.Z., ZHAO, F. y RAMANI, K. Integration of Sustainability Into Early Design Through the Function Impact Matrix. Journal of Mechanical Design [en línea]. 2010, vol. 132, n.o 8, p. 081004 [consulta: 2019-07-05]. ISSN 10500472. Disponible en: doi:10.1115/1.4001890
[7] GUENOV, M.D. y BARKER, S.G. Application of Axiomatic Design and Design Structure Matrix to the decomposition of engineering systems. Systems Engineering [en línea]. 2005, vol. 8, n.o 1, pp. 29-40 [consulta: 2019-07-05]. ISSN 10981241. Disponible en: doi:10.1002/sys.20015
[8] CARNEVALLI, J.A., MIGUEL, P.A.C. y CALARGE, F.A. Axiomatic design application for minimising the difficulties of QFD usage [en línea]. S.l.: Elsevier. 1 mayo 2010 [consulta: 2019-07-05]. ISSN 09255273. Disponible en: doi:10.1016/j.ijpe.2010.01.002
[9] BAI, Z.H., ZHANG, S., DING, M. y SUN, J.G. Research on product innovation design of modularization based on theory of TRIZ and axiomatic design. Advances in Mechanical Engineering [en línea]. 2018, vol. 10, n.o 12, p. 168781401881408 [consulta: 2019-07-05]. ISSN 16878140. Disponible en: doi:10.1177/1687814018814087
[10] ILEVBARE, I.M., PROBERT, D. y PHAAL, R. A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. Technovation [en línea]. 2013, vol. 33, n.o 2-3, pp. 30-37 [consulta: 2019-07-05]. ISSN 01664972. Disponible en: doi:10.1016/j.technovation.2012.11.003
[11] FIORINESCHI, L., FRILLICI, F.S. y ROTINI, F. Enhancing functional decomposition and morphology with TRIZ: Literature review. Computers in Industry [en línea]. 2018, vol. 94, pp. 1-15. ISSN 01663615. Disponible en: doi:10.1016/j.compind.2017.09.004
[12] KOESTLER, A. The ghost in the machine. London: Hutchinson [en línea]. 1967 [consulta: 2017-08-12]. ISSN 0037-9751. Disponible en: http://arpast.org/newsevents/articles/article59.pdf%5Cnhttps://scholar.google.fr/scholar?q=Koestler+The+Ghost+in+the+Machine&btnG=&hl=fr&as_sdt=0,5#2
[13] ÁVILA-GUTIÉRREZ, M.J., AGUAYO-GONZÁLEZ, F., MARCOS-BÁRCENA, M., LAMA-RUIZ, J.R., MARÍA, &t y PERALTA-ÁLVAREZ, E. Reference holonic architecture for sustainable manufacturing enterprises distributed. Dyna rev.fac.nac.minas [en línea]. 2017, vol. 84, n.o 200, pp. 160-168 [consulta: 2017-08-12]. ISSN 00127353 (ISSN). Disponible en: doi:10.15446/dyna.v84n200.53095