



## **Uso del QFD para el diseño de un sistema transformador de humedad en agua potable**

## **Use of the QFD for the design of a transforming system of moisture in drinking water**

Alfonso Barbosa-Moreno<sup>1</sup>, Carlos Eusebio Mar-Orozco<sup>1</sup>, Arturo Barbosa-Olivares<sup>1</sup>, Ma. Cristina Guerrero-Rodríguez<sup>1</sup>, Verónica Castellanos-Díaz<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México.

---

Recibido: 19-11-2019

Aceptado: 09-12-2019

Autor correspondal: [carlos.mar.orozco@gmail.com](mailto:carlos.mar.orozco@gmail.com)

## Resumen

El agua es un recurso de vital importancia para la vida de los seres vivos, es tan grande la demanda requerida que en algunas zonas del planeta ha comenzado a escasear o a restringirse el uso y consumo. A pesar de los avances tecnológicos y los procedimientos para hacer llegar dicho líquido se detectan zonas en las que no llega el suministro, por otro lado cada día incrementa la población mundial generando un mayor consumo de la misma. En el presente estudio se hace uso del despliegue de función de calidad mejor conocido como QFD como una forma de escuchar la voz de los usuarios y determinar de forma específica los aspectos que deben ser atendidos para el diseño de un dispositivo captador de humedad, así como también se presenta una estimación de la demanda enfocada a la zona sur de Tamaulipas México con el propósito de conocer el mercado potencial.

**Palabras clave:** *QFD, captación de humedad, ingeniería de diseño.*

## Abstract

Water is a resource of vital importance for the life of living beings, the demand required is so great that in some areas of the planet it has begun to be scarce or to restrict use and consumption. In spite of the technological advances and the procedures to send this liquid, zones are detected in which the supply does not arrive, on the other hand every day the world population increases generating a greater consumption of the same. The present study makes use of the deployment of a quality function better known as QFD as a way of listening to the voice of users and specifically determining the aspects that must be addressed for the design of a moisture sensing device, as well as An estimation of the demand focused on the southern zone of Tamaulipas Mexico is also presented in order to know the potential market.

**Key words:** *QFD, moisture collection, design engineering.*

## Introducción

El agua es un elemento vital para la vida en el planeta Tierra, pues participa en forma decisiva en diversos procesos biológicos, geológicos, meteorológicos, químicos y físicos. (Blanca Jiménez Cisneros, 2010) La principal forma del agua atmosférica es el vapor de agua; cuando se hace referencia a la cantidad del mismo en el aire se denomina “humedad”. Teniendo como fuente de origen el aire, que resulta gratuito e inagotable, y la humedad que posee cantidades muy bajas de sales minerales, permite la obtención de agua de alta calidad. (Jahan, 2015).

En las comunidades rurales de México no se cuenta con el acceso al agua purificada debido a la carencia tecnológica, trayendo consigo consecuencias al bienestar de las personas; el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2015) indica que cada año mueren alrededor de 1.8 millones de niños por diarrea, cólera, fiebre, poliomielitis, hepatitis y otras enfermedades provocadas por la ingesta de agua insalubre y las condiciones deficientes de saneamiento.

El 70% del vapor de agua flota en la atmósfera como consecuencia de la evaporación de los ríos, mares, plantas, seres vivos. La altitud, temperatura, orografía, geografía y masas de agua, son factores importantes que hacen que los niveles de agua en el aire sean muy diferentes a lo largo del planeta. Este vapor puede condensarse de forma natural y artificial y de esta manera es posible transformar el aire en una fuente de agua potable.

## Materiales y métodos

El despliegue de la función de calidad (quality function deployment, QFD) es una metodología que traslada los requisitos del cliente en un conjunto de requisitos técnicos, y esto lo hace en cada una de las etapas del diseño y producción de un producto o servicio (Garibay, Gutiérrez & Figueroa, 2010). Con frecuencia QFD es identificada como la metodología para escuchar la voz de los clientes. QFD se considera una herramienta clave para el desarrollo de productos y para mejorar la calidad de los productos, tanto en el área de servicios como en procesos de fabricación (Abu-Assab, 2012).

El despliegue de la función calidad (QFD) se define como: “la conversión de las demandas del consumidor en características de calidad y el desarrollo de una calidad de diseño para el producto terminado, mediante el despliegue sistemático de relaciones entre demandas y características, comenzando con la calidad de cada componente funcional y extendiendo el despliegue de la calidad a cada parte del proceso. (Zapata, 2013)

En la fase de diseño, se hizo uso del despliegue de función de calidad. En primera instancia se realizó la lista de necesidades del cliente, conformada por 25 requisitos que son indispensables para que los consumidores adquieran dicho sistema, entre ellos se encuentran:

Que el equipo capte la suficiente humedad para obtener agua, duradero, el proceso sea visible, fácil de manejar, fácil de usar, económico, color blanco, que no consuma luz, estructura firme, indicador de cantidad de agua, ligero, contenedor portátil, hecho con materiales inoxidables, protección del contenedor, que tenga atractivo visual, fácil de utilizar, fácil mantenimiento, no muy ostentoso, portátil, funcionamiento en cualquier lugar, buena capacidad, de fácil traslado, resistente, no muy voluminosa y finalmente que pueda adaptarse a cualquier medio.

Los requisitos que ocuparon un mayor porcentaje fueron:

- Que capte la suficiente humedad con un 8.5%
- Que sea fácil de utilizar tiene un 8.1%
- Que sea ligero con un 6.5%
- Que sea económico un con 6.2%

Una vez finalizado los requerimientos del cliente, se realizaron las características técnicas y operativas, también llamadas “cómo”, las cuales se muestran a continuación:

Funcionamiento óptimo, desempeño, materiales, almacenamiento, diseño, absorción, peso, protección al contenedor, dureza, control de velocidad, filtrado, visibilidad, tenacidad, conductividad térmica, dilatación, abastecimiento, plegable, durabilidad, estabilidad, tamaño, costo de producción mínimo, firmeza, control de humedad y adhesión de filtros.

Para la construcción del techo se evaluó la correlación entre las características de calidad, en la cual se hizo uso de la siguiente simbología:

++ indica fuerte correlación positiva

+ indica correlación positiva

— indica correlación negativa

▼ indica fuerte correlación negativa

El funcionamiento óptimo tiene una fuerte correlación positiva con los materiales ya que para que el prototipo funcione es necesario utilizar metales preferentemente, otra característica que tiene una correlación positiva fuerte es el tamaño, pues no puede ser ni muy voluminoso ni muy liviano.

El peso tiene una fuerte correlación positiva con el tamaño, y una correlación positiva con la firmeza. El tamaño es otra de las características que tienen una fuerte correlación positiva con la absorción ya que

son necesarias aspas que cuenten con una altura capaz de captar el mayor porcentaje de humedad relativa presente en el ambiente para poderlo transformar en agua purificada.

La absorción tiene una fuerte correlación positiva con el desempeño, debido a que el sistema será más eficiente mientras mayor sea el porcentaje de captación de agua en el ambiente. De igual manera la adhesión de filtros tiene una fuerte correlación positiva con la durabilidad, ya que se pretende el mantenimiento del sistema, con el fin del correcto funcionamiento.

El abastecimiento tiene una fuerte correlación positiva tanto con el control de humedad, como del control de velocidad, debido a que estos dos parámetros son indispensables para el funcionamiento óptimo del prototipo.

Sin embargo, la estabilidad y que el prototipo sea plegable tienen una fuerte correlación negativa, pues no es posible que el prototipo sea plegable y a la vez estable, pero sí puede ser estable y ligero.

La conductividad térmica tiene una fuerte correlación negativa con el abastecimiento, los materiales a emplear con el diseño también tienen una correlación negativa. El hecho de que sea plegable no necesariamente indicara el funcionamiento óptimo, por ello estas dos características tienen una correlación negativa fuerte.

El desempeño y la firmeza tiene una fuerte correlación negativa, sin embargo, la firmeza tiene una relación positiva con el almacenamiento, debido a que el agua que será almacenada en el contenedor deberá mantenerse en su posición original, con el fin de evitar el desbordamiento o la contaminación del agua. Por ello la dureza y el almacenamiento tienen una correlación positiva.

La dureza tiene una fuerte correlación negativa con la visibilidad, mientras que el diseño tiene una fuerte correlación positiva con la visibilidad, se pretende que el proceso sea lo suficientemente visible para detectar cualquier anomalía que pudiera presentarse, además para el cambio del filtrado cuando este sea necesario.

El funcionamiento óptimo tiene una fuerte correlación positiva con la visibilidad, debido a que entre más visible sea el proceso más fácilmente se detectan fallas en el mismo.

La dilatación tiene una fuerte correlación negativa con el control de humedad, mientras que la dilatación tiene una correlación positiva con la durabilidad, cabe señalar que el ambiente en el cual estará operando el sistema, será en un porcentaje de humedad elevada, por ello es importante la elección de materiales capaces de funcionar normalmente bajo estas condiciones.

Para realizar la matriz de correlación entre los requisitos del cliente y las características de calidad se utilizó la siguiente simbología:

⊖ Indica fuerte correlación, cuyo valor es de 9

O Indica correlación moderada, cuyo valor es de 3

▲ Indica correlación deficiente, cuyo valor es de 1

Las columnas que obtuvieron altos valores relativos fueron:

La columna 1 con un valor relativo de 8.8 y la columna 10 con el mismo valor relativo.

Una vez terminado el análisis de la matriz, se realizó la evaluación competitiva el dispositivo tiene 3 competidores fuertes en la actualidad, los cuales se muestran a continuación:

### ***Competidor 1:***

Eolewater es una innovación la cual permite producir agua extrayendo la humedad del aire mediante un proceso de condensación. (Parent, 2010) “En primer lugar, se extrae la energía del viento para generar electricidad, y ésta se emplea para hacer funcionar un sistema de aire acondicionado en donde la humedad del aire se condensa para producir agua.” La máquina absorbe el aire para depositarlo en un sistema que enfría una serie de placas sobre las que se condensa la humedad del aire, y así se forma agua que fluye hacia un tanque colector. “Esto no es más que una máquina que produce lluvia” —señaló Parent.

### ***Competidor 2:***

Investigadores de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) de Lima colaboraron con la agencia publicitaria Mayo Peru DraftFCB desarrollaron un panel que produce agua potable usando como recurso el aire.

El panel está estratégicamente situado en el pueblo de Bujama, una zona casi desértica al sur de Lima, en la que algunos vecinos no tienen acceso a agua potable. Sin embargo, y a pesar de las duras condiciones climatológicas, el aire contiene 98% de humedad, (UTEC, 2013).

El panel cumple su función tradicional de plataforma publicitaria, a la vez que incluye el especial cometido. La pieza se compone internamente de cinco máquinas que convierten la humedad del aire en agua mediante el uso de filtros y un condensador. El agua se almacena en tanques situados en la parte superior de la estructura y, una vez filtrada, fluye por una tubería hasta llegar al grifo, al que todo el mundo tiene acceso News Mundo [2013].

### ***Competidor 3:***

Por otra parte, Fresh Water es una tecnología que permite obtener agua de la atmósfera con sólo conectarla a una fuente eléctrica 220V, o bien, a través de su propia batería o fuente solar, sin tener la necesidad de conectarse a una red de agua potable, ni depender de la logística y abastecimiento de botellones o camiones aljibes. Lo que hace este sistema es recuperar el agua suspendida en el aire mediante el fenómeno de la condensación a presión ambiental. Posteriormente y empleando etapas de

filtrado, purificación y esterilización, provee agua purificada con altos estándares de calidad, (CENTER, 2014)

### ***Análisis competitivo:***

Al realizar el análisis competitivo se otorgaron valores del 0 al 5 en donde 0 indicaba lo peor y 5 lo mejor. Se evaluaron los requisitos de los clientes y se llegó a la conclusión que el mayor competidor que tiene el sistema es Eolewater, debido a que cumple con la mayoría de los requisitos que el cliente solicita para poder adquirir un sistema capaz de transformar humedad en agua purificada. Sin embargo, este dispositivo no está al alcance del sector estratégico hacia el cual está dirigido.

Para la fase de mercadotecnia, se determinó el tamaño de la muestra, posteriormente se diseñó y aplicó una encuesta, con el propósito de conocer la opinión del mercado acerca de un dispositivo capaz de producir agua a través de la humedad, así como el porcentaje de aceptación por parte de los consumidores para así determinar el mercado potencial y en base a esto realizar la proyección de la demanda bajo los tres escenarios. Los sujetos encuestados fueron familias rurales de la ciudad de Altamira Tamaulipas.

Determinación del tamaño de la muestra:

$$n = \frac{Z^2 pq N}{e^2 (N - 1) + Z^2 pq}$$

Ecuación 1. Cálculo del tamaño muestral

Donde:

n= Tamaño de la muestra

Z= Nivel de confianza (1.96)

p= Probabilidad a favor (0.5)

q= Probabilidad en contra (0.5)

N= Población (4000)

e= Error de estimación (0.05).

Al sustituir se obtuvo:

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.5)(0.5)(4000)}{(0.05)^2 (4000 - 1) + (1.96)^2 (0.5)(0.5)} = \frac{3841.6}{10.9579} = 350.5$$

*Sustitución del cálculo del tamaño muestral.*

Posteriormente se realizó una la estimación de la demanda y se aplicaron encuestas, con el propósito de conocer el porcentaje de aceptación que tendría el producto en cuestión.

## Resultados

En la figura 1 se muestra la aplicación del despliegue de la función de calidad del dispositivo captador de humedad ambiental.

Se aprecia que algunos requisitos presentan un mayor impacto los cuales son: que capte la suficiente humedad en un 8.5%, que sea fácil de utilizar en un 8.1%, que sea ligero con un 6.5% y finalmente que sea económico ocupa un 6.2%. Debido a ello las características técnicas y operativas a considerar para el diseño del sistema serán: el funcionamiento óptimo, tamaño, firmeza, peso, adhesión de filtros y estabilidad. Por otro lado, en el análisis de los competidores se puede observar que el dispositivo tiene tres fuertes competidores que cumplen con la mayoría de los requisitos que los clientes solicitan. Sin embargo, la única desventaja son los precios inaccesibles hacia el segmento de mercado al que va dirigido el sistema.

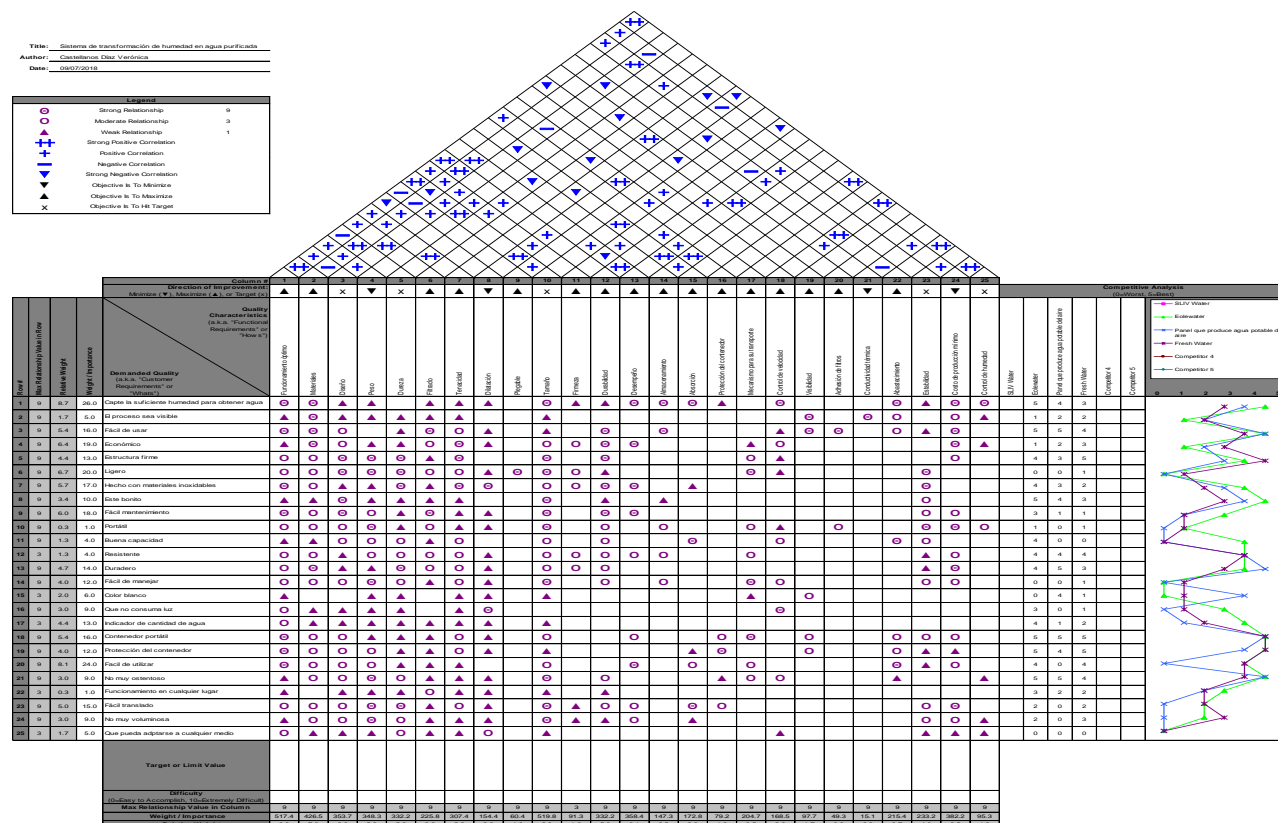


Figura 1. Despliegue de la función de calidad del sistema de transformación de humedad en agua potable

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado y analizado el despliegue de función de calidad, fue posible llevar a cabo la puesta en marcha del prototipo tomando en cuenta las características del cliente y las técnicas operativas dicho sistema será capaz de coleccionar la humedad presente en el ambiente y transformarla en agua purificada, beneficiando a familias de comunidades rurales, previniendo enfermedades como la poliomielitis,



hepatitis y otras enfermedades provocadas por la ingesta de agua insalubre y las condiciones deficientes de saneamiento.

En la siguiente figura se aprecia el diseño propuesto considerando la información obtenida en el QFD, así como también se presenta la tabla de costos de materia prima.

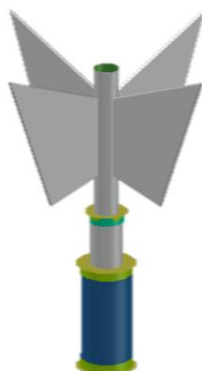


Figura 2. Prototipo del dispositivo  
Fuente: los autores

Tabla 1. Lista de materiales para realizar el prototipo

Producto	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Malla sombra	1.50 m	\$118.90	\$178.35
Tubo PVC de 40 mm	6 m	\$10.80	\$64.80
Tubo PVC de 1"	0.5 m	\$17.70	\$8.85
Tubo PVC de 10 mm	1.0 m	\$27.00	\$27.00
Tubo PVC perforado de 3 cm	1	\$14.90	\$14.90
Balero de 3 cm	1	\$77.94	\$77.94
Cople de 3 cm de plástico	1	\$12.00	\$12.00
Filtro	1	\$15.00	\$15.00
Embudo	3	\$16.00	\$48.00
Láminas de acrílico	4	\$74.90	\$299.60
Bisagra de 1X1	2	\$3.00	\$6.00
Costo total			\$752.444

Fuente: los autores

A continuación, se presenta los resultados de las preguntas más relevantes realizadas en la encuesta:

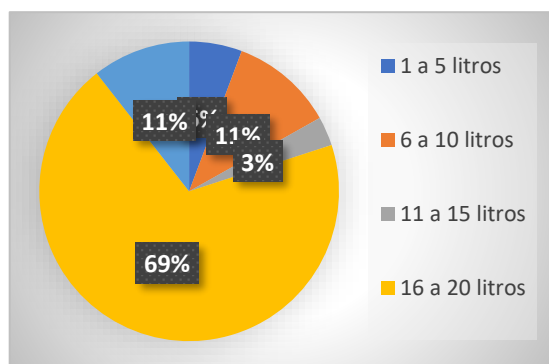


Figura 4. Cantidad de agua purificada consumida.  
Fuente: los autores

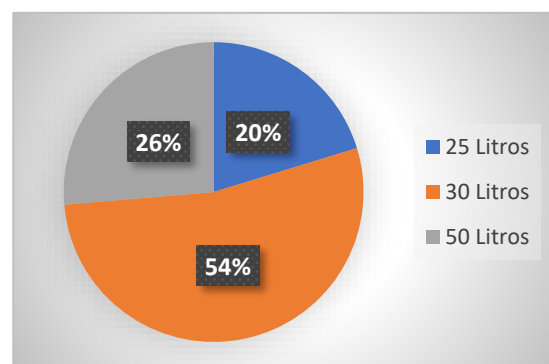


Figura 5. Capacidad de litros que requiere  
Fuente: los autores

Estimación y volumen de la demanda.

En la tabla 2 se presenta una proyección de ventas del dispositivo captador de humedad ambiental.

Tabla 2. Estimación de la demanda en la zona conurbada del sur de Tamaulipas

Año	Madero	Tampico	Altamira	Total anual
2018	201,251	240,755	298,936	740,942
2019	201,362	246,515	297,846	745,723
2020	201,426	252,214	296,711	750,351
2021	201,512	257,944	295,598	755,054
2022	201,650	263,612	294,485	759,747
2023	201,732	269,374	293,372	764,478

Fuente: los autores

Con el propósito de conocer los diversos escenarios en los que se puede presentar la demanda se realizaron los siguientes cálculos.

Tabla 3. Escenarios de la demanda

AÑO	$\Sigma$	% ACEPTACION	% COBERTURA	Frec. Compra x Sem	PENETRACION	Escenarios		
						OPTIMISTA	REALISTA	PESIMISTA
		0.9	0.35	2	25%	80%	45%	30%
2018	740,942	666,847.80	233,396.73	466,793.46	116,698.37	93,358.69	52,514.26	5,009.51
2019	745,723	671,150.70	234,902.75	469,805.49	117,451.37	93,961.10	52,853.12	35,235.41
2020	750,351	675,315.90	236,360.57	472,721.13	118,180.28	94,544.23	53,181.13	35,454.08
2021	755,054	679,548.60	237,842.01	475,684.02	118,921.01	95,136.80	53,514.45	35,676.30
2022	759,747	683,772.30	239,320.31	478,640.61	119,660.15	95,728.12	53,847.07	35,898.05
2023	764,478	688,030.20	240,810.57	481,621.14	120,405.29	96,324.23	54,182.38	36,121.59

Fuente: los autores

Se aprecia los volúmenes de ventas estimados hasta al año 2023 bajo el enfoque de tres escenarios de la demanda, se puede observar que las ventas proyectadas son atractivas.

## Conclusiones

Mediante la aplicación de las herramientas fue posible, aplicar la mercadotecnia para la elaboración del diseño al proyecto mencionado con anterioridad, con el despliegue de la función de calidad además de analizar la expectativa del cliente, permitió el análisis de las características técnicas y operativas que el sistema de transformación de humedad en agua purificada podía ofrecer a las comunidades carentes del

vital líquido, debido a que el costo de producción se reducirá al máximo el precio de venta será mínimo, y como consecuencia más familias del estado de Tamaulipas podrán tener acceso a este dispositivo.

Una vez realizada la segmentación de mercado, la aplicación de las encuestas, el diseño y la fabricación del dispositivo, se probó que es posible producir hasta 12 litros de agua al día, en condiciones óptimas de parámetros tales como porcentaje de humedad relativa y velocidad de los vientos, satisfaciendo a las comunidades rurales del vital líquido.

Cabe señalar que dentro de las características de diseño a considerar se tomó en cuenta que el cliente requiere que capte la suficiente humedad, fácil de utilizar, ligero y económico. En cuanto se refiere al estudio de mercado se encontró que hay una aceptación del 90% y en la proyección de la demanda, realizada bajo tres escenarios se aprecia la viabilidad mercadológica al tener proyecciones con tendencia positiva.

Sí bien ya existen dispositivos capaces de cumplir con esta función suelen ser muy costosos y están fabricados con tecnología sofisticada generando una limitante para la adquisición de los mismos, se pudo apreciar que con \$752.44 es posible adquirir los insumos necesarios para la fabricación del dispositivo.

## **Agradecimientos**

Se agradece al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Madero por las facilidades para llevar a cabo este trabajo.

## **Referencias bibliográfica**

- Abu-Assab (2012). "Integration of preference analysis methods Into\_QFD\_for Elderly People". Germany: Springer Gabler.
- Blanca Jiménez Cisneros, M. L. (2010). El agua en México . *CONAGUA*, 702.
- CENTER, C. (2014). FRESH WATER PARA OBTENCION DE AGUA DEL AIRE. *Centro de investigación en ciencias*, 9.
- Garibay, Gutiérrez & Figueroa (2010). Evaluation of a digital library by means of quality function deployment (QFD) and the Kano Model. *The Journal of Academic Librarianship*. Vol. 36, Issue 2, pp. 125-132.
- Jahan, S. (2015). Panorama general; Informe sobre Desarrollo humano. *PNUD*, 48.

Maury, H. (2006). Obtenido de [https://upcommons.upc.edu › bitstream](https://upcommons.upc.edu/bitstream)

Maury, H. (2012). *Ingeniería Concurrente*. Obtenido de <https://lisandroingmec.files.wordpress.com/2013/08/ingenieria-concurrente.pdf>

Ospina, M. J. (2004). Introducción a Mastercam. 192.

Parent, M. (2010). Agua a partir del aire: Una innovación que cambiará nuestras vidas. *Revista de la OMPI*, 13.

Ramirez, H. E. (s.f.). 2009. Obtenido de <https://books.google.com.mx>

SWDWD. (s.f.). Obtenido de WW.GDFF.COM

UTEC. (2013). El milagro de convertir el aire en agua potable. *News mundo*, 7.

Zapata (2013). Efecto de las técnicas de ingeniería de la calidad en el diseño de productos. *Revistas Javeriana*.