



Sistema de Llenado de Botellas para Microempresas Embotelladoras de Agua Mineral Bottle Filling System for Mineral Water Bottling Microenterprises

Edith Diaz / Correo edith.diaz189@gmail.com / Código Orcid: 0009-0001-2117-8030

Enderson Gil / Correo: enderson.gil1978@gmail.com / Código Orcid: 0009-0004-8601-8806

Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño

Recibido: junio 2021

Aprobado: diciembre 2021

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito diseñar un sistema de llenado de botellas en presentación de 5 litros para micro empresas embotelladora de agua mineral. El estudio se enmarcó teóricamente con los autores Mott (2006) y Rosales (2010), entre otros. Metodológicamente la investigación fue de tipo proyectiva, no experimental, transaccional con un diseño mixto, documental y campo. Las unidades de análisis estuvieron constituidas por el sistema de potabilización del vital líquido que tienen instaladas las micro empresas. La técnica para la recolección de los datos fue la observación directa, entrevistas no estructuradas como revisión bibliográfica. Los datos se registraron sistemáticamente a través de fichas técnicas como block de notas, los cuales se interpretaron por medio de análisis cualitativo y de contenido. El desarrollo de la propuesta comprendió la descripción de la línea de producción, identificación de requerimientos del sistema, determinación de especificaciones del diseño, así como la estimación de costos, obteniendo una llenadora de alto rendimiento para una producción máxima de 1.350 botellas/h en envases de 5 litros que beneficiaran alrededor de 600 personas de las comunidades donde se implante la unidad de negocios, favoreciendo su economía e impulso al emprendimiento por parte de los habitantes, además de colaborar con el mejoramiento de la calidad de vida de estas poblaciones quienes no cuentan con un sistema de llenado de agua potable, purificada a un precio asequible.

Palabras clave: sistema, llenado, botella, embotelladora, agua mineral.

Abstract

The purpose of this investigation was to design a bottle filling system in a 5-liter presentation for mineral water bottling micro-enterprises. The study was framed theoretically with the authors Mott (2006) and Rosales (2010), among others. Methodologically, the research was of a projective, non-experimental, transactional type with a mixed, documentary and field design. The analysis units were constituted by the water purification system that the micro-enterprises have installed. The technique for data collection was direct observation, unstructured interviews and bibliographic review. The data was systematically recorded through technical sheets and notepads, which were interpreted through qualitative and content analysis. The development of the proposal included the description of the production line, identification of system requirements, determination of design specifications, preparation



of plans, as well as cost estimation, obtaining high-performance filler for a maximum production of 1,350 bottles. /h in 5-liter containers that will benefit around 600 people from the communities where the business unit is established, favoring their economy and promoting entrepreneurship on the part of its inhabitants.

Keywords: system, filling, bottle, bottling machine, mineral water.

Introducción

A nivel mundial, toda organización tiene función principal dentro de su cartera comercial y la de producción, trátase de productos y/o servicios, por ello, es importante que esta función se administre de la mejor manera con el fin de alcanzar la ventaja competitiva necesaria para mantenerse en los mercados globales. Parafraseando a Rosales (2010), se asocia a la producción con el hecho de generar bienes materiales como bebidas, alimentos, vestidos o automóviles pero la función de producción está presente en cualquier ente socio-económico, tanto para bienes materiales o servicios intangibles.

Una de las compañías con mayores beneficios en cuanto a su función de producción, han sido las de potabilización, embotellado y distribución de agua mineral. Es un sector dinámico de toda la industria de alimentación y bebidas. El consumo del líquido potabilizado, embotellado ha ido creciendo a un ritmo constante en todo el mundo en las últimas décadas, según lo afirma Díaz (2006), lo cual puede deberse al cuidado de las persona por salud y calidad de vida, quienes procuran ingerir el vital líquido con la mayor pureza posible. La Organización de las Naciones Unidas a través de la Organización Mundial de la Salud lo presenta como premisa fundamental en el sexto objetivo del desarrollo sostenible 2030, como agua limpia y tratamiento.

Generalmente, las empresas dedicadas a este tipo de producto, extraen el vital líquido directamente de un pozo profundo, para luego someterla a un tratamiento físico químico, acorde con la caracterización de la misma; posteriormente, pasa por una etapa de desinfección, como la irradiación de rayos ultravioleta para eliminar los microorganismos que pueda contener sin alterar su composición. Tal es el caso de la mayoría de las industrias del oeste de la ciudad de Maracaibo las cuales, tratan el agua extraída de un pozo para volverla apta al consumo humano.

Estas empresas con años en funcionamiento, utilizan canales de logística complejos, elevando así los costos de producción, por ende encareciendo el producto que llega al consumidor. Favorecido por la poca presencia de empresarios o emprendedores con adecuadas líneas de producción endógenas y sectorizadas que permitan abastecer los diversos canales logísticos de distribución con mayor efectividad. Por tanto, la cadena final del mismo, supermercados, panaderías, restaurantes, hoteles, centros y espacios deportivos, entre otros, han sido afectados e impactando el bolsillo del ciudadano maracaibero.

Objetivo General

Proponer un sistema de llenado de botellas para microempresas embotelladoras de agua mineral en la ciudad de Maracaibo.



Objetivos Específicos

Establecer las características del producto a ser embotellado para microempresas embotelladoras de agua mineral en la ciudad de Maracaibo

Analizar el proceso productivo actual de llenado de botellas en microempresas embotelladoras de agua mineral en la ciudad de Maracaibo.

Determinar las especificaciones técnicas de las tuberías y bombas a ser instaladas en la línea de producción de un sistema de llenado de botellas para microempresas embotelladoras de agua mineral en la ciudad de Maracaibo

Determinar el estimado de costos de un sistema de llenado de botellas para microempresas embotelladoras de agua mineral en la ciudad de Maracaibo

Metodología

El estudio se clasificó de tipo descriptivo, por medir y evaluar diferentes aspectos, dimensiones o comportamientos del fenómeno objeto de investigación. Según Tamayo y Tamayo (2009), la investigación descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o proceso de los fenómenos. También se clasificó de tipo proyectiva por la elaboración de una propuesta, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, a un grupo de personas, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento y de las tendencias futuras, es decir, con base en los resultados de un proceso investigativo (Hurtado, 2015).

El diseño de la investigación fue documental no experimental, transeccional. Documental porque la información consultada se ubicó en documentos, libros, revistas, citas electrónicas, entre otros, referidos a la creación de una planta para la producción de agua embotellada, como fuente de referencia sin alterar su naturaleza o sentido. Igualmente no experimental, en concordancia con Hernández, Fernández y Baptista (2010), quienes expresan que los diseños no experimentales son aquellos donde el investigador no manipula deliberadamente la variable, lo que hace es observar los fenómenos de la misma forma como ocurren en su contexto natural y luego son analizados.

Por ser una investigación documental, la población en la fase del mercado fueron los documentos y evidencias recolectadas sobre la producción de agua potable en el estado Zulia, para tener la definición del producto, el consumo aparente así como la proyección de la demanda futura, lo cual permitió analizar la demanda. De igual forma, se analizaron la oferta, los precios y la comercialización del producto (agua embotellada).

Para los estudios técnicos y económicos como el que se pretende desarrollar, la población utilizada fue la documentación recabada de otros proyectos realizados con anterioridad, los cuales fueron una guía para determinar estos requerimientos necesarios para el desarrollo de la propuesta, en relación a las especificaciones técnicas, catálogos, manuales de proceso, normas, distribución de equipos, costos de equipos para la planta, entre otros.

Como técnica de revisión documental se utilizaron las matrices de análisis, de categorías y las matrices de registro. Antes de utilizar alguno de los instrumentos propios de esta técnica, fue

necesario realizar los procedimientos de validación de fuentes, a fin de garantizar que la información obtenida fuera altamente confiable. En esta investigación se tomaron como unidades de estudio los documentos observados representados por: informes, revistas, artículos, publicaciones e información e información digital contenida en páginas web.

Fundamentación Teórica

Características del producto

Según Baca (2016), es la descripción exacta del producto o productos que se pretenda a elaborar. Esto debe ir acompañado por las normas de calidad correspondientes. Es parte del marketing de la empresa, ventas al precio, distribución y promoción. Esta puede ser: bienes o productos tangibles, servicios intangibles, institucionales, ideas y abarca proyectos de negocio. Para Sapag y Sapag (2014), es un conjunto de atribuciones tangibles e intangibles e incluyen el empaque, color, precio, prestigio del fabricante, entre otros. Es todo objeto a ofrecer en un mercado para la atención, adquisición, uso o consumo, permite satisfacer un deseo o una necesidad. Este puede ser un servicio a prestar, idea para vender, persona o un lugar.

Es el resultado de la interacción entre la mano de obra, maquinaria y materiales que intervienen en un proceso de transformación, de lo cual puede resultar un bien o un servicio. Por su parte Mankiw (2012), lo define como un bien físico desarrollado por un fabricante para su uso posterior y satisfacción de una necesidad por parte del consumidor, por lo general, en las sociedades desarrolladas los deseos como las necesidades se satisfacen a través de productos. En general, es un conjunto de atributos fundamentales unidos en una forma identificable con beneficios que satisfacen los requerimientos del usuario.

En este sentido, Monterrer (2013) indica, concebir el producto como una propuesta de valor, es decir, un conjunto de ventajas que contribuyen a satisfacer las necesidades, esta propuesta de valor se materializa en una oferta donde supone una combinación de elementos físicos, servicios, información, experiencias, entre otras. Esta conceptualización, desde una perspectiva amplia lleva a considerar diferentes dimensiones que componen el todo del producto. Concretamente en tres dimensiones:

- a) Producto básico: es el centro total. Representa el beneficio básico que el consumidor busca al comprar un producto. Incluye los componentes principales como las características funcionales, el valor percibido, la imagen o la tecnología asociada.
- b) Producto real: un producto básico se convierte en real cuando se le añaden atributos como la marca, el etiquetado, el envase, el diseño, el estilo, calidad, entre otras.
- c) Producto aumentado: consiste en todos los aspectos añadidos al producto real, como son el servicio posventa, el mantenimiento, la garantía, instalación, entrega y financiación.

Es por ello que para la presente investigación, el agua embotellada se toma como producto final terminado, resultado de un proceso productivo que será aprovechado por un consumidor posterior, considerado como de primera necesidad por tratarse de agua para el consumo humano.

Proceso de Producción

Según Baca (2016), el proceso de producción es la función de manufactura propiamente dicha donde se realiza la transformación de una serie de insumos y suministros, mediante una serie de procesos u operaciones, utilizando maquinarias, instalaciones como personal adecuado para la obtención de bienes y servicios.

En esta etapa del estudio, donde se procedió a seleccionar una determinada tecnología para el embotellado de agua potable. Se entenderá por tal, al conjunto de conocimientos técnicos, equipos, procesos empleados para desarrollar una determinada función. Es primordial en esta fase, tomar en cuenta los resultados de la investigación de mercado, pues esto dictará las normas de calidad y la cantidad que se requieren, factores que influyen en la selección o no de esta tecnología. Asimismo, debe considerar la flexibilidad de los procesos para procesar varias clases de insumos, lo cual ayudará a evitar los tiempos muertos de la producción en un momento dado.

Para Sapag y Sapag (2014) según el flujo, el proceso puede ser en serie, por pedido o por proyecto. Es en serie cuando ciertos productos, cuyo diseño básico es relativamente estable en el tiempo, destinado a un mercado, permiten su producción para existencias. Las economías de escala obtenidas por el alto grado de especialización que permite, van normalmente asociadas a bajos costos unitarios.

En un proceso por pedido, la producción sigue secuencias diferentes que hacen necesaria su flexibilización, a través de mano de obra y equipos suficientemente flexibles para adaptarse a las características del pedido. Este proceso afectará a los flujos económicos por la mayor especialidad del talento humano y por las mayores existencias que será preciso mantener. La producción por proyecto corresponde a un producto complejo de carácter único que, con tareas bien definidas en términos de recursos y plazos, da origen, a un estudio de factibilidad completo.

Según Baca (2016) se establece que al concluir el estudio técnico, se demostrará si existe un mercado potencial por cubrir y si existe algún impedimento tecnológico para llevar a cabo el proyecto. La parte del análisis económico pretende determinar cuál es el monto de los recursos financieros necesarios para la realización del proyecto, cuál será el costo total de la operación de la planta (funciones de producción, administración y ventas), así como otra serie de indicadores pertinentes para la base de investigación, representada por la evaluación económica.

Estimado de Costos

Según Córdoba (2011), lo define como la cantidad de recursos económicos a invertir, formas de financiamiento, estimaciones de ingreso y egresos. El resultado de la evaluación se mide por medio de instintos criterios que más que optativos, son complementarios entre sí. La improbabilidad de tener certeza de la ocurrencia de los acontecimientos considerados en la preparación del proyecto hace necesario considerar el riesgo de invertir.

Para Austudillo (2012), las evaluaciones de los estudios económicos permiten conocer si el proyecto es factible, abarca el procedimiento y análisis de las metodologías, de tal

manera, la pérdida financiera será poco significativa por ser la inversión de recursos mínima en comparación al costo total de lo que implicaría la puesta en marcha de un proyecto.

Para esto es propio el diagnóstico de costos, gastos, ingresos por ventas, entre otros, debido a permitir de manera adecuada la información necesaria del proyecto. Por ello, se evaluará la viabilidad económica para la instalación de un sistema para la producción y embotellado de agua potable.

Para Baca (2016), el estimado de costos de la inversión inicial conlleva a determinar el conjunto de recursos materiales o financieros, requeridos para la realización de un proyecto. Mientras Sapag y Sapag (2014), indican que se puede clasificar en dos conceptos claramente diferenciados, por un lado, la inversión destinada a la adquisición de activos fijos y suministros requeridos para el inicio de la actividad, por otro, la liquidez requerida para mantener la actividad empresarial hasta aportar fondos para hacer frente a los compromisos financieros. La mayoría de las inversiones de un proyecto, se concentran en aquellas que se deben realizar antes del inicio de la operación.

Resultados

Características del Producto

Primeramente, se definió el producto, constituido por el agua potable envasada, aquella apta para el consumo humano, contenida en recipientes apropiados, aprobados por la autoridad competente y con cierre hermético inviolable, el cual deberá permanecer en tal condición hasta que llegue a manos del consumidor final. Denominada “agua mineral”, por proceder directamente de origen profundo o endógeno, obtenida por brote natural o perforación, sin contaminación.

Según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN, 1982), el agua para el consumo final del ser humano de debe cumplir con los requisitos organolépticos, microbiológicos, fisicoquímicos y radiactividad y contener baja concentración de impurezas tolerables.

a. Requisitos Organolépticos.

Tabla 1. Características cualitativas del agua.

Característica	Requisito
Color	Máx. 5 unidades (pt/Co)
Olor	Ausente
Sabor	Sin sabor extraño
Aspecto	Transparente

Fuente: Comisión Venezolana de Normas Industriales, (COVENIN, 1982)

b. Requisitos Microbiológicos.

Tabla 3. Características Microbiológicas del agua.

Producto	Análisis	Método de referencia	n	C	Límite por 100 ml	
					M	m
Agua Mineral	Coliforme o E. Coli	DMT MF	10	1	0	4 10
			10	1	0	
			10	0	0	
Agua Mineral	Estreptococos Feleces		10	1	0	1
Agua Mineral	Pseudomona Aeruginosa		10	0	0	
Agua potable	Coliformes	DMT MF	10	1	0	4 10
			10	1	0	
Agua Gasificada	Coliformes	DMT MF	10	1	0	4 10
			10	1	0	

El pH deberá determinarse siempre

Fuente: Comisión Venezolana de Normas Industriales, (COVENIN, 1982)

c. Requisitos Fisicoquímicos.

Tabla 2. Características Fisicoquímicos del agua.

Característica	Concentración Máxima
Aluminio	0,3
Arsénico	0,05
Alcalinidad Total	500
Bario	1,0
Bicarbonato	500,0
Boro	1,0
Cadmio	0,01
Calcio	200,0
Cianuro	0,001
Cloruros	250,0
Cobre	0,2
Cromo	0,05
Dureza Total	500,0
Fluoruros	1,0
Fosfatos	0,5
Hierro	0,3
Magnesio	30,0
Manganeso	0,3
Mercurio	0,001
Nitratos	45,0
Nitritos	0,001
Plata	0,05
Plomo	0,002
Selenio	0,01
Sílice disuelta	50,0
Sólidos Solubles	1.000,0
Sulfatos	250,0
Sulfuros	0,05
Zinc	0,2
pH	6,5-8,5

Fuente: Comisión Venezolana de Normas Industriales, (COVENIN, 1982)

d. Impurezas Tolerables.

Tabla 4. Impurezas Tolerables del agua.

Sustancia	Concentración Máxima
Aceites minerales	0,3
Componentes	0,001
Detergentes Aniónicos	1,00
Aldrin	0,008
Clordeno	0,008
Endrin	0,0015
Heptacloro epóxido	0,01
Metoxicloro	0,035
Carbaryl	0,05
Paratión	0,05
Fosdrin	0,025
T.E.P.P	0,025
2,4,5-T	0,001
Dieldrin	0,008
D.D.T	0,05
Heptacloro	0,01
Lindano	0,05
Toxafeno	0,005
Carbamato	0,05
Azinfos metílico	0,025
2,4 D	0,25

Fuente: Comisión Venezolana de Normas Industriales, (COVENIN, 1982).

e. Requisitos de Radiactividad.

Radiactividad alfa global: máximo 3 pCi/l*

Radiactividad beta global: máximo 30 pCi/l

* (pCi/l= pico curies por litros)

Además de cumplir con los requisitos establecido por la norma COVENIN, se establece que el envase o botella a ser utilizado para su envasado debe ser de tereftalado de polietileno (PET), en forma de preforma y las tapas son fabricados en polietileno de baja densidad, ver figura siguiente.



Figura 1. Envases Plástico PET 5 Litros

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Proceso productivo actual de llenado de botellas.

La figura 2 mostrada a continuación, presenta el proceso de embotellado de agua potable actual, instalado por las empresas embotelladoras ubicadas en el municipio Maracaibo, desde la extracción del agua cruda, los procesos de cloronación y desinfección, reducción de pureza filtración hasta obtener el producto final terminado y ser colocado en las manos del usuario final.

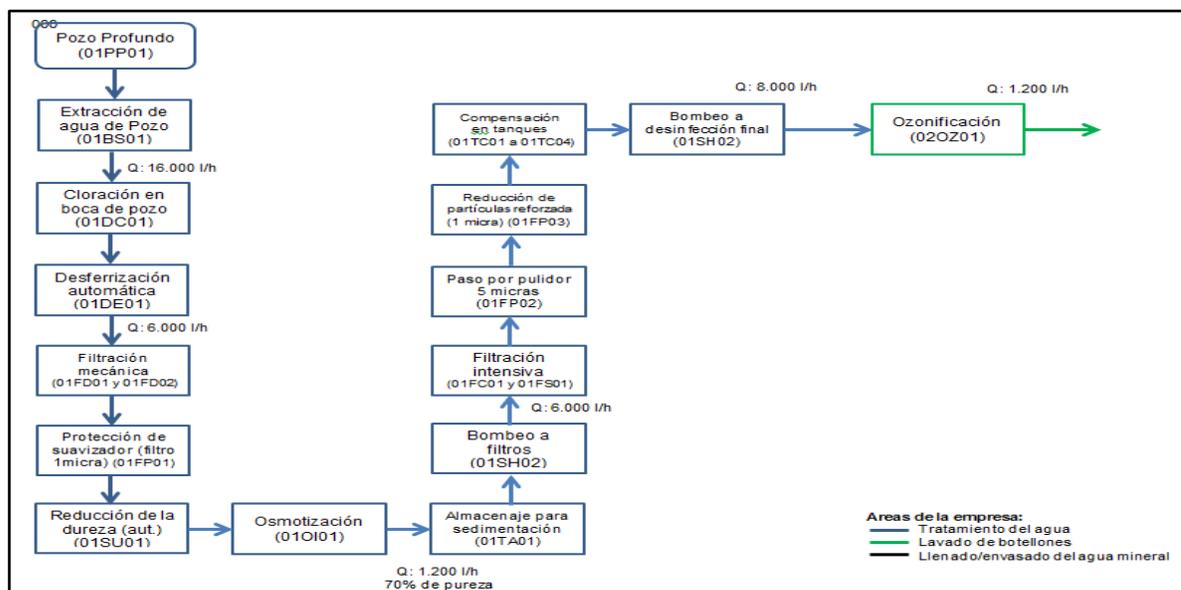


Figura 2. Proceso de tratamiento de agua actual

Fuente: Elaboración propia (2021)

Diseño del Sistema de Llenado de Botellas de Agua Potabilizada.

Seguidamente se presenta paso a paso el diseño, cálculo y selección de los elementos que conformarán el nuevo sistema de llenado de botellas de agua potable. Para ello, se consultaron proveedores de equipos, piezas y repuestos neumáticos, metalmecánicos, maquina industrial, entre otras, a fin de seleccionar los componentes estandarizados y normalizados y la tecnología para la instalación del sistema de llenado de botellas simplificado, asegurando de este modo eficiencia al menor costo, funcional, eficaz, eficiente y duradero que satisfaga las expectativas del consumidores y beneficios para las empresas embotelladoras.

Tipo de Llenadora o Sistema de Llenado

Para la selección del tipo de llenado a utilizar para el diseño, se consideraron las ofertas de los proveedores locales sobre la variedad de llenadoras que ofrecen, agrupadas en tres grandes grupos, por nivel, volumétricas y ponderales o por peso, tal como lo plantean los autores Duarte y Salcedo (2010), Hidalgo (2011) y Bolzoni y col, E. (2014).

Tabla 1
Valoración de alternativas de llenado

	A nivel			Volumétrica	Ponderac.
	Por gravedad	Por vacío	Por presión		
Precisión	7	7	7	10	10
Equipos especializados	10	6	8	2	2
Cambio de formato	8	8	8	10	10
Mantenimiento	10	10	10	7	7
Facilidad de limpieza	7	7	7	9	9
Tiempo de llenado	3	8	10	10	10
Total	45	46	50	48	48

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tomando en cuenta lo anteriormente planteado y los valores expresados en la tabla 1, se diseñará una llenadora lineal a nivel con potencia de flujo a presión y de funcionamiento neumática. Se prefiere de esta manera porque la producción es moderada, se empleará para envasar agua no viscosa ni carbonatada, además productos de más de una presentación podrán ser colocados simultáneamente en las boquillas. Para ello se presenta el sistema de bombeo y el respectivo esquema de automatización propuesto.

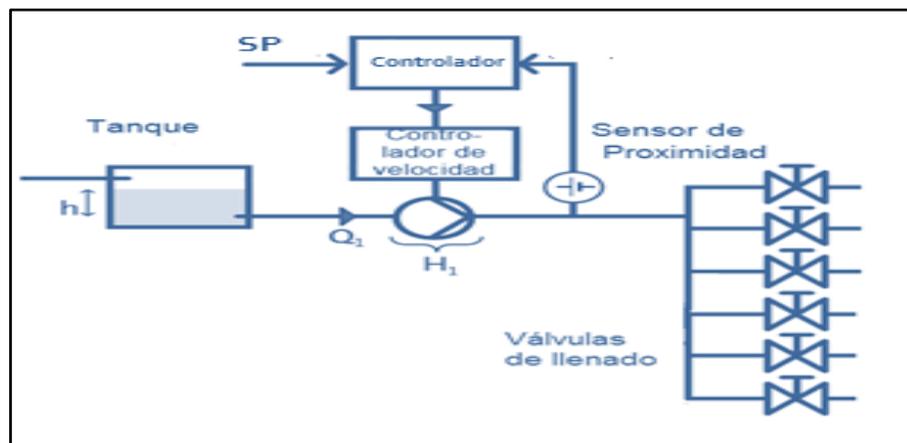


Figura 2. Control propuesto
Fuente: Elaboración propia (2021)

Para la selección apropiada de la bomba se requieren tres datos fundamentales: caudal que manejará, la carga dinámica o altura manométrica total, así como el NPSH (*Net-Positive-Suction-Head*), también llamada altura de aspiración neta positiva o altura total de presión de retención. Este valor está relacionado con el fenómeno de la cavitación, de acuerdo con autores como Díaz, J (2006) y Mott, R (2006). Se procederá a calcular cada uno de ellos. Se pretenden proporcionar desde las válvulas de llenado a las botellas

$$Q_b = (5 \text{ l} \times 6) \div 11 \text{ s} = 30 \text{ l} \div 18 \text{ s} = 2,7272 \text{ l/s.} \quad (1)$$

Este valor representa el caudal requerido para la bomba en caso de que el flujo fuese constante. Sin embargo, por ser intermitente se calculó con el tiempo total del llenado (vertido del líquido + traslado fuera de las boquillas), por ser lo requerido por la llenadora por operación, entonces resolviendo 1:

$$Q_b = 30 \text{ l} \div 18 \text{ s} = 1,6667 \text{ l/s} = 6 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Convirtiendo este valor en galones/min: $26,4556 \text{ gal/min} \approx 27 \text{ gal/min}$ que satisfacen el requerimiento. Las tuberías indicadas de acero inoxidable 304 (que como tienen buena resistencia a la presión pueden elegirse Schedule 5S, inclusive), para ese caudal son de $1 \frac{1}{2}$ " (38 mm) para la succión y de $1 \frac{1}{4}$ " (32 mm) para la descarga tal como se puede estimar haciendo uso de la tabla de especificaciones de tuberías y su diseño en materiales de la ASTM®, donde de acuerdo con el caudal se selecciona el valor indicado para la tubería de impulsión y el inmediatamente superior corresponderá al de succión, según las Normas Sanitarias para Proyecto, Construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones (1988). Se instalará una válvula check a la salida de la bomba en acero inoxidable 316L.

Siguiendo el Apéndice Técnico de la empresa ESPA (2021), primer fabricante español de bombas y sistemas de gestión del agua, en el mismo se indica, el dimensionado debe hacerse de forma que las velocidades sean como máximo 1,8 m/s para la tubería de aspiración y 2,5 m/s para la tubería de impulsión. La velocidad del flujo es importante para la economía y duración del sistema de bombeo, si es inferior a 0,5 m/s se origina, normalmente, sedimentaciones, si es mayor a 5 m/s pueden originar abrasiones. La fórmula de dicho fabricante para obtener la velocidad en m/s es:

$$v = 354. Q \div d^2 \quad (2)$$

Donde Q es el caudal expresado en m³/h y d es el diámetro de la tubería en mm. De allí sustituyendo los diámetros correspondientes y el caudal calculado se obtiene 1,4709 m/s para la succión y 2,0742 m/s para la impulsión, valores que se encuentran dentro de los límites establecidos.

Ahora, para determinar la altura manométrica, la cantidad de energía que entrega la bomba al fluido según Mott, R (2006) y otros autores, se emplea la ecuación: $H_A = H_s + H_i$, donde H_A = Altura manométrica que debe vencer la bomba (m); H_s es la carga de succión (m) y H_i es la carga de impulsión (m). Pero, a su vez $H_s = h_s + \Delta h_s$, en la cual h_s es la altura de succión, esto es, altura del eje de la bomba sobre el nivel inferior del agua (m) y Δh_s es la pérdida de carga en la succión (m). Asimismo $H_i = h_i + \Delta h_i$, en la cual h_i es la altura de impulsión, esto es, la altura del nivel superior en relación al eje de la bomba (m) y Δh_i es la pérdida de carga en la tubería de impulsión. Por tanto, $H_A = H_s + H_i + \Delta h_s + \Delta h_i$

Se procederá a obtener las pérdidas de fricción, para ello, primero se obtuvieron los números de Reynolds donde los resultaron por secciones fueron: boquillas ($v = 2,2632$ m/s) $Re = 35.966,1889$; de las boquillas al manifold ($d = 0,0191$ m (3/4"), el caudal se divide en seis conductos por tanto $Q = 1$ m³/s, $v = 0,9806$ m/s obtenida con la fórmula dada por Espá) $Re = 18.602,7333$; en el cuerpo del manifold ($d = \frac{1}{2}" = 0,050$ m, $v = 0,8496$ m/s) $Re = 42.192,5731$; desde el manifold a la bomba ($d = 0,032$ m, $v = 2,0742$ m/s) $Re = 65.925,3000$; desde la bomba al tanque de rebose ($d = 0,038$ m, $v = 1,4709$ m/s) $Re = 55.516,0104$.

Como todos los números de Reynolds son mayores que 4.000 se trata de un flujo turbulento. Ahora bien, como los valores obtenidos son todos menores a 100.000 y se trata de tuberías lisas, se puede aplicar la fórmula de Blasius que se presenta a continuación (3):

$$f = 0,316 \div (Re)^{0,25} \quad (3)$$

Según autores como Díaz (2006) y Trapote (2014), esto para obtener el factor de fricción, resultando para cada sección: $f = 0,0229$; $0,0271$; $0,0220$; $0,0197$; $0,0205$. Estos valores se van a necesitar, a su vez, para el cálculo de las pérdidas por fricción el cual se realiza con la fórmula de Darcy Weisbach, apropiada tanto para flujo laminar como para turbulento obteniéndose los siguientes resultados.

Para la sección de las boquillas ($L = 0,2540$ m) $h_f = 1,5200 \cdot 10^{-3}$ m; de las boquillas al manifold ($L = 0,678$ m) $h_f = 3,3770 \cdot 10^{-4}$ m; en el cuerpo del manifold ($L = 0,8382$ m) $h_f = 2,0579 \cdot 10^{-4}$ m; desde el manifold a la bomba ($L = 0,80$ m) $h_f = 1,0984 \cdot 10^{-3}$ m; desde la bomba al tanque de rebose ($L = 0,35$ m) $h_f = 5,8910 \cdot 10^{-5}$ m. Así el total de pérdidas por fricción es la sumatoria de las del tramo de succión más el tramo de descarga:

$$h_f = 5,8910 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 3,1619 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3,2208 \cdot 10^{-3} \text{ m}. \quad (4)$$

Para el cálculo de las pérdidas debido a las válvulas y accesorios en la línea de tubería, las cuales alteran la configuración del flujo, se determinarán utilizando la ecuación de Mott, R (2006) que emplea un coeficiente K adimensional de pérdidas secundarias el cual depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad de la tubería y de hasta la configuración antes del accesorio.

La v en la ecuación corresponde a la velocidad. Los valores de las pérdidas menores se calcularon por tramo de succión y tramo de impulsión: Para el primero, se considera una salida de tubo ($K=1$), una entrada normal de tubo ($K=0,50$), $h_l = 0,1657$ m. Para el segundo, se tiene salida de tubo ($K=1$), válvula de retención ($K=2,50$), codo de 90° ($K=0,90$), dos reducciones graduales ($K=0,15 \cdot 2 = 0,30$), seis boquillas ($K=2,5 \cdot 6 = 15$), por lo tanto, $h_l =$

4,3243 m. Las pérdidas por cargas menores son entonces: $h_l = 0,1657 \text{ m} + 4,3243 \text{ m} = 4,4897 \text{ m}$. Así la pérdida de carga total viene dada por:

$$h_L = h_f + h_l = 3,2208 \cdot 10^{-3} \text{ m} + 4,4897 \text{ m} = 4,4929 \text{ m}.$$

Ahora se procede a retomar la ecuación de la altura manométrica:

$$H_A = H_s + H_i + \Delta h_s + \Delta h_l, \quad (5)$$

Sustituyendo valores en 5:

$$H_A = 0,80 \text{ m} + 0,35 \text{ m} + 0,1658 + 4,4928 \text{ m} = 5,8086 \text{ m}.$$

Esto equivale a $0,5696 \text{ bar} = 56,9614 \text{ Kpa}$. La potencia necesaria de esta bomba será:

$$P_b = Q \cdot H_A \div 76 \cdot N \quad (6)$$

Donde P_b es la potencia de la bomba (H_p), H_A la altura manométrica (m), Q el caudal (l/min), y N es la eficiencia de la bomba (adimensional), esta eficiencia cuando se desconoce para bombas centrífugas se establece como 60-70%, según Mora, L. y Ramírez, M. (2010). Así se obtiene una potencia de $0,1274 H_p \approx \frac{1}{2} H_p$.

También se calcula el NPSH para mayor seguridad en la escogencia del equipo. Su fórmula viene dada por: $NPSH = P_{atm} - (P_{vapor} + H_s + \Delta h_s)$, donde la presión atmosférica está en m al igual que la presión de vapor, la cual es la tensión de vapor de un líquido a una temperatura determinada, equivale a la presión bajo la cual el líquido empieza a hervir se puede conocer de Mott, R (2006) para 20°C. P_{atm} se considera como atmósfera normal porque la ciudad de Maracaibo se encuentra casi al nivel del mar y su valor es $1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} = 10,1974 \text{ m}$ de agua. Sustituyendo valores NPSH es 9,6816 m. Con la información anterior es posible seleccionar desde catálogos de proveedores la bomba requerida.

Debe tenerse presente que la misma bomba tiene la exigencia de suministrar 27 GPM a una presión de $56,9614 \text{ Kpa} = 21,79 \text{ PSI}$. Estos son valores críticos, representan las cantidades mínimas demandadas de flujo y presión, respectivamente. De acuerdo a las recomendaciones de autores especialistas en el tema como Mott (2006), Trapote (2014) y fabricantes como Espa (2021), la bomba a seleccionar debe operar entre el 25 y el 75% de su rango de capacidad. Esto último, con intención de prolongar al máximo su ciclo de vida útil.

De los cálculos realizados se conoce que las tuberías de succión y descarga tienen diámetros de $1 \frac{1}{2}$ " y $1 \frac{1}{4}$ " respectivamente, por tanto se requiere una bomba con entrada y salida concordante, asimismo, debe ser apta para operaciones en el sector alimentos y bebidas. Consultando proveedores se encontró la existencia de varias opciones, entre ellas la electrobomba centrífuga monobloc horizontal, marca Hasa, serie INOX 316L, modelo CO-



350/03 la cual puede ser monofásica o trifásica que con tan sólo 0,5 Hp genera un caudal de 8.000 l/h en una altura manométrica de 6 m y si se reduce aumenta aún más.

En la industria alimenticia y de las bebidas se aplica por norma la neumática para fines de control y automatización por ser el aire un fluido abundante, limpio, gratuito e inocuo. En tal sentido, para el sistema adjunto de llenado el movimiento de subida y bajada del arreglo de boquillas hasta los envases necesita un cilindro neumático con sensores magnéticos activado por pedal.

Para seleccionar el pistón es necesario calcular la fuerza requerida para vencer la resistencia de compresión del resorte de las válvulas. El valor obtenido debe multiplicarse por 6 debido por el número de boquillas involucradas en el arreglo. Finalmente, se agrega un factor de seguridad que incluye el peso aproximado de toda la estructura de llenado. Por tanto, recurriendo a la Ley de Hooke se obtiene: $F = K \cdot x$, donde K es la constante elástica del resorte (lb/in o N/m) y x es la longitud de trabajo del resorte (m) y, por supuesto, F la fuerza necesaria en N.

Considerando, el material del resorte debe ser AISI 313 a 304, la constante elástica del resorte obtenida desde proveedores como Acasi Machinery, Inc y Packaging Dynamics, Ltd, es de: 39,40 lb/in convirtiendo en N/m: 4,4516 N/m y teniendo en cuenta el recorrido de las boquillas es de 0,030 m. Sustituyendo valores en la fórmula: $F = 0,1335 \text{ N}$. Se agrega un factor de seguridad de 3,5 y se multiplica por el número de válvulas, así: $F = 0,1335 \text{ N} \cdot 3,5 \cdot 6 = 2,8045 \text{ N}$.

El cilindro será de doble efecto y su carrera se deduce con las dimensiones de la bancada ajustadas para llenar botella con alturas establecidas en el cuadro 2), siendo su carrera mínima igual a la separación existente entre el cuello de la botella y el tope superior del pico de llenado más la longitud del resorte contenido en la válvula, por lo tanto, es de 0,254 m (10") carrera.

Se opta por un cilindro compacto ADNGF-32- marca Festo que cubre los requerimientos, cuya carrea máxima es de 0,30 m pero como la estimación se realizó con la altura de la botella de mayor volumen se considera el indicado. El mismo tiene una fuerza al avance y al retroceso que cubre por mucho los requerimientos del sistema. Su diámetro de émbolo es 0,032 m. Diámetro de vástago 0,006 m. El consumo de aire de una instalación completa o de un elemento de la misma se calcula referido a condiciones normales, esto según la ISO R554 son: Temperatura de 20°C, Presión de 1,013 mbar y una Humedad relativa del 65%. Se utilizará la fórmula de Festo para el cálculo de este requerimiento por metro de carrera. Aplicando la ley de Boyle-Mariotte (formula 7), se obtiene la relación de compresión a 6 bar de operación:

$$Rc = \frac{1,013 + P_O (\text{bar})}{1,013} = \frac{1,013 + 6}{1,013} = 6,9230 \quad (7)$$

De los datos de producción, además se conoce, cada cilindro deberá realizar como 1.450 ciclos por hora o bien 11.600 ciclos/día, convirtiendo a ciclos por minutos sería de 8,0556 ciclos/min. Sustituyendo valores en la fórmula del consumo de aire se tiene que:

$$\dot{V} = \left\{ \frac{0,254 \text{ m} \cdot (0,032 \text{ m})^2 \pi}{4} + \frac{0,254 \text{ m} [(0,032 \text{ m})^2 - (6 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2] \pi}{4} \right\} \cdot 8,0556 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \cdot 6,9230$$

$$\dot{V} = 3,6351 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \left(\frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \right) = 3,6351 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Eso consumirá el cilindro diario y 0,4513 l/ciclo. Es importante aclarar, en el mercado actual las máquinas llenadoras se venden sin el compresor y para no extender cálculos se obvió su selección pero como se observa la demanda de aire es reducida y puede ser cubierta con cualquier compresor existente en la empresa o de bajas prestaciones. Se adiciona otro cilindro neumático con pocas prestaciones para el tope de la cinta transportadora.

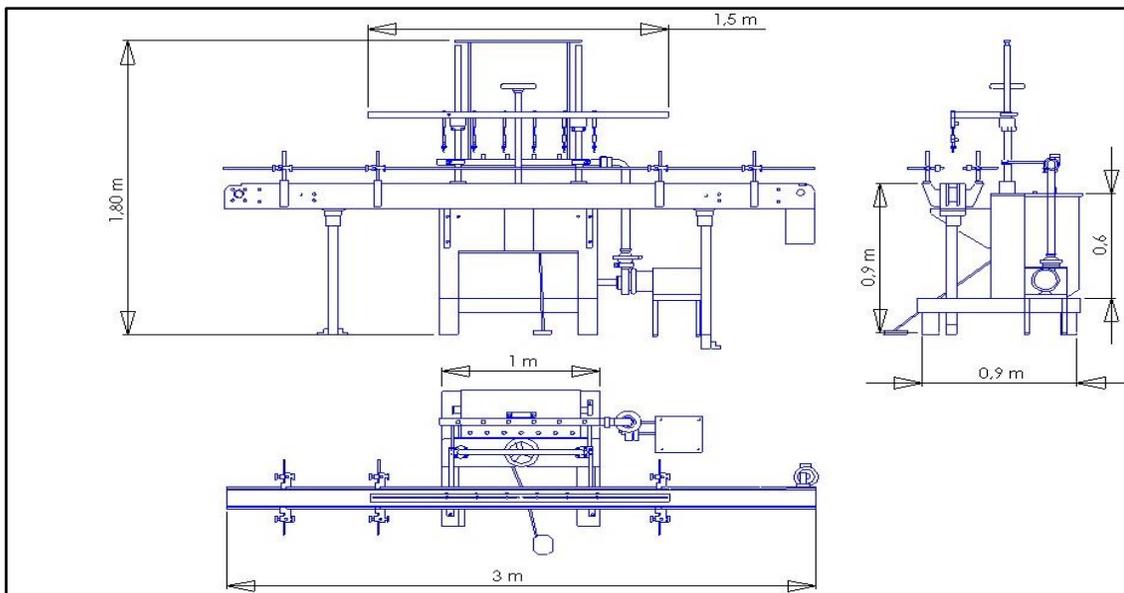


Figura 3. Sistema de llenado de botellas en presentación de 5 ltrs
Fuente: Elaboración propia (2021)

Luego de conocer las especificaciones técnicas de la maquinaria y equipos técnicos requeridos y haber estudiado como sería distribución del nuevo sistema de llenado de botellas se plantea el flujo de proceso. Los pasos del proceso para obtener agua potable embotellada, desde la extracción hasta obtener el botellón de 5 ltrs, producto final terminado para ser entregado al consumidor final, se listan a continuación:

1. El proceso inicia con la recepción de los botellones de 5 Lts, estos serán comprados en su forma original para la venta, donde habrá una inspección para asegurar que provengan en buen estado y sin deterioro.
2. Al momento de iniciar el proceso productivo, los botellones serán transportados a la máquina de lavado y llenado. El agua a utilizar es extraída de un pozo profundo.

3. Después pasa por un tratamiento de luz ultravioleta, sistema calibrado para desinfectar la amenaza de bacterias y virus, para luego pasar por el proceso de purificación.

4. Los botellones serán colocados en la maquina lavadora donde se colocarán una (01) a la vez para la limpieza interior y externa completa.

5. El botellón será sacado por el operador y lo colocará en el mesón de llenado de acero inoxidable y de forma manual debe colocar el botellón en la salida de agua, tendrá que abrir la válvula para que el envase sea llenado del vital líquido purificado.

6. Luego el recipiente es llevado al mesón siguiente donde se colocará la etiqueta manualmente y un sello plástico en la parte de la tapa que será calentado para tomar la forma de la boquilla para evitar que el botellón sea violado hasta el consumidor final.

7. Por último, al estar listo el botellón se llevará al resto de los productos terminados (almacén), a la espera que sea despachado. Contabilizando la salida de los mismos.

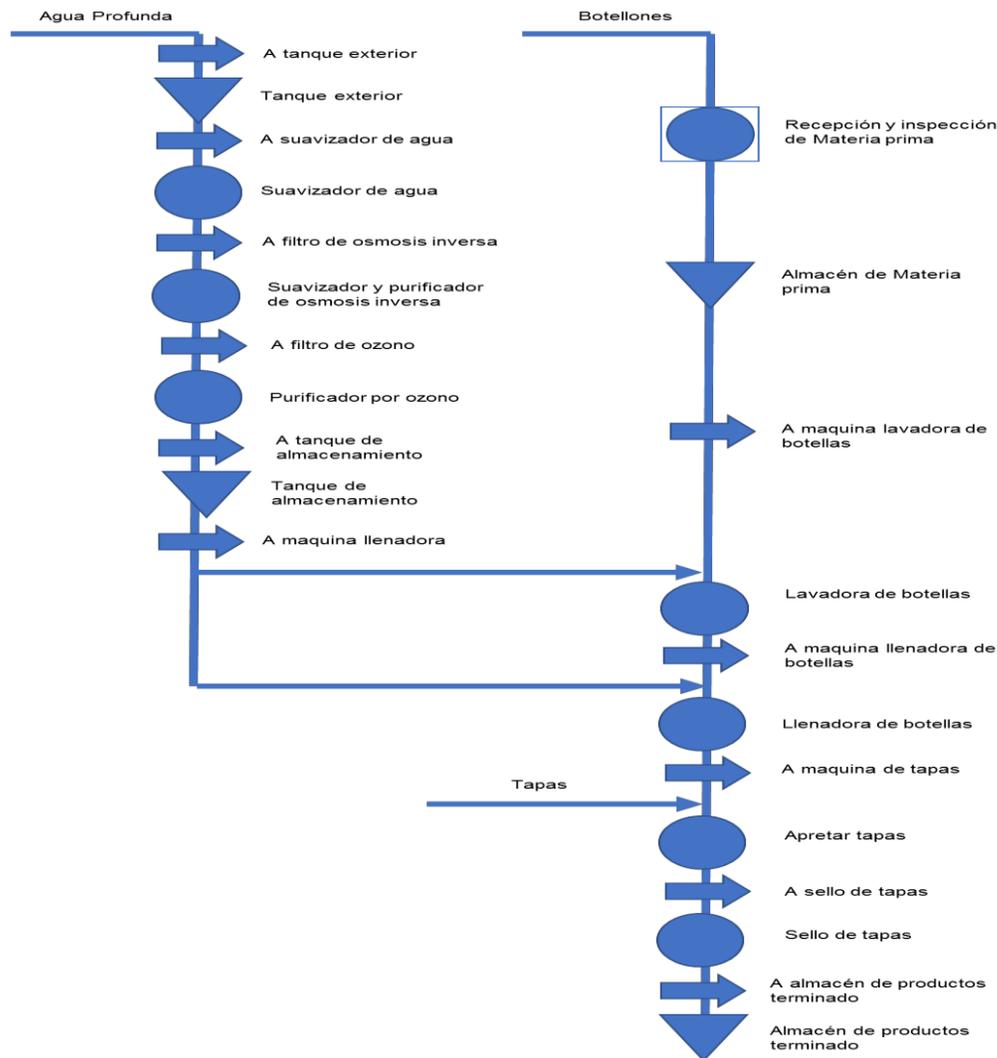


Figura 4. Diagrama de flujo de procesos.
Fuente: Elaboración propia (2021)

Estimado de costos

Respecto al último objetivo referido a elaborar el estimado de costos sobre la factibilidad económica de instalar un nuevo sistema de llenado de botellas en microempresas embotelladoras de agua mineral, se consultaron proveedores locales y nacionales para determinar los costos de adquisición de sistemas similares al diseñado.

En tal sentido, el tabla 2 muestra los precios obtenidos de diversos proveedores considerando su transporte hasta el sitio de ubicación de la nueva unidad de negocios, obteniéndose un costo estimado de USD 2.639,00, donde los costos mayores lo representan el transportador y los trabajos de acondicionamiento de las facilidades para su instalación (bancada y losa de piso estructural).

Tabla2.
Estimado de Costos

Elemento	Costo (USD)
Bancada y losa de piso estructural	695
Boquilla de llenado tipo overflow	210
Manifold	164
Tanque de Rebosamiento	385
Bomba	275
Cilindro	85
Transportador	825
TOTAL	2.639
Tiempo de recuperación 2 años	

Fuente: Elaboración propia (2021)

Conclusiones

El objetivo principal de la investigación fue el de proponer un sistema de llenado de botellas para microempresas embotelladoras de agua mineral en la ciudad de Maracaibo, que resultó ser un proyecto factible y recomendable a grupos de inversionistas. Durante el desarrollo del estudio se pudo diagnosticar la situación actual del mercado local del líquido tratado, envasado, arrojando que el proyecto objeto de esta investigación es viable, por existir un déficit actual en el suministro, distribución y abastecimiento del mismo, apto para el consumo humano y por ende existe una demanda insatisfecha.

De ahí que, se determinaron las características del producto a ser embotellado para microempresas embotelladoras de agua mineral en la ciudad de Maracaibo, apta para el consumo humano, en concordancia con lo estipulado por la Norma COVENIN (1982) sobre cumplir con los requisitos organolépticos, microbiológicos, fisicoquímicos y radiactividad y contener baja concentración de impurezas tolerables, contenida en recipientes de 5 lts., con cierre hermético inviolable.

Adicionalmente, se calcularon las especificaciones técnicas de las tuberías, válvula y bombas a ser instaladas en la línea de producción, los cuales pueden ser adquiridos mediante una orden de compra a empresas locales. La tecnología propuesta es de fácil aplicación y cumple con estrictos patrones de calidad exigidos.

En síntesis, La nueva unidad de negocios generará nuevas fuentes de empleos directos e indirectos de forma permanente, contribuyendo con una mejor calidad de vida de los habitantes del Municipio Maracaibo, dado que ofrecerá un producto de calidad y a precios competitivos. En cuanto al estimado de costos, se determinó que para llevar a cabo la implementación de la propuesta se necesita una inversión inicial de USD 2.639,00.

Referencias Bibliográficas

- Austudillo M. (2012). Fundamentos de la Economía. 1era Edición. Instituto de Investigaciones Económicas UNAM. Universidad. Nacional Abierta de México. México
- Baca, G. (2016). Evaluación de proyectos. 7ma edición. Mc Graw Hill. México
- Bolzoni, M., Folli, G., Cima, G., Nucci, C. y Battistini, E. (2014). Sistemas de llenado para el sector bebidas. OCME Competence Library. [Reporte Técnico en Línea]. Disponible en: <https://pdf.directindustry.es/pdf/ocme/sistemas-llenado-bebidas/57464-379005.html> Consultado en línea en fecha 06-07-2021
- Córdoba, M. (2011). Formulación y Evaluación de Proyectos. Editorial Ecoe. Bogotá. Colombia.
- Covenin (1982). Agua potable envasada. Requisitos. Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad. (Fondonorma). Productos alimenticios. Venezuela
- Díaz, J. (2006). Mecánica de Fluidos e Hidráulica.: Programa Editorial Universidad del Valle. Cali, Colombia
- ESPA (2021). Apéndice Técnico de la empresa ESPA. Link: <https://www.espa.com/corp-es/>. Consultado en línea en fecha 22 nov 21.
- Hernández, Fernández y Baptista (2010). Metodología de la Investigación. Editorial Mc Graw Hill. México.
- Hidalgo, J. (2011). Tratado de Enología I. (2a. ed.). Mundi-Prensa Libros. D.F., México
- Hurtado, J. (2015). Metodología de la investigación. Editorial Quiron Sypal. . Bogotá
- Mankiw (2012). Principios de Economía. 6ta. Edición. Editorial Cengage Learning Editores. México, D.F.
- Mora, L. y Ramírez, M. (2010). Diseño de un Sistema de Llenado Tipo Carrusel para Cilindros de Gas Licuado de Petróleo (GLP), en Emegas Planta San Cristóbal. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, Venezuela.
- Mott, R. (2006). Mecánica de Fluidos. (6ta. Ed.) Pearson Educación. México.



Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2016). Disponible en:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/Consultado>
Consultado en línea en fecha 15-07-2021

Rosales, J. (2010). Elementos de Microeconomía. Editorial Euned. San José, Costa Rica:

Sapag, N. y Sapag, R. (2014). Preparación y Evaluación de Proyectos. Editorial McGraw Hill. Mexico.

Trapote A. (2014). Infraestructuras Hidráulico-Sanitarias I. Abastecimiento y distribución de agua. (2a. Ed.). Publicaciones de la Universidad de Alicante. España: