

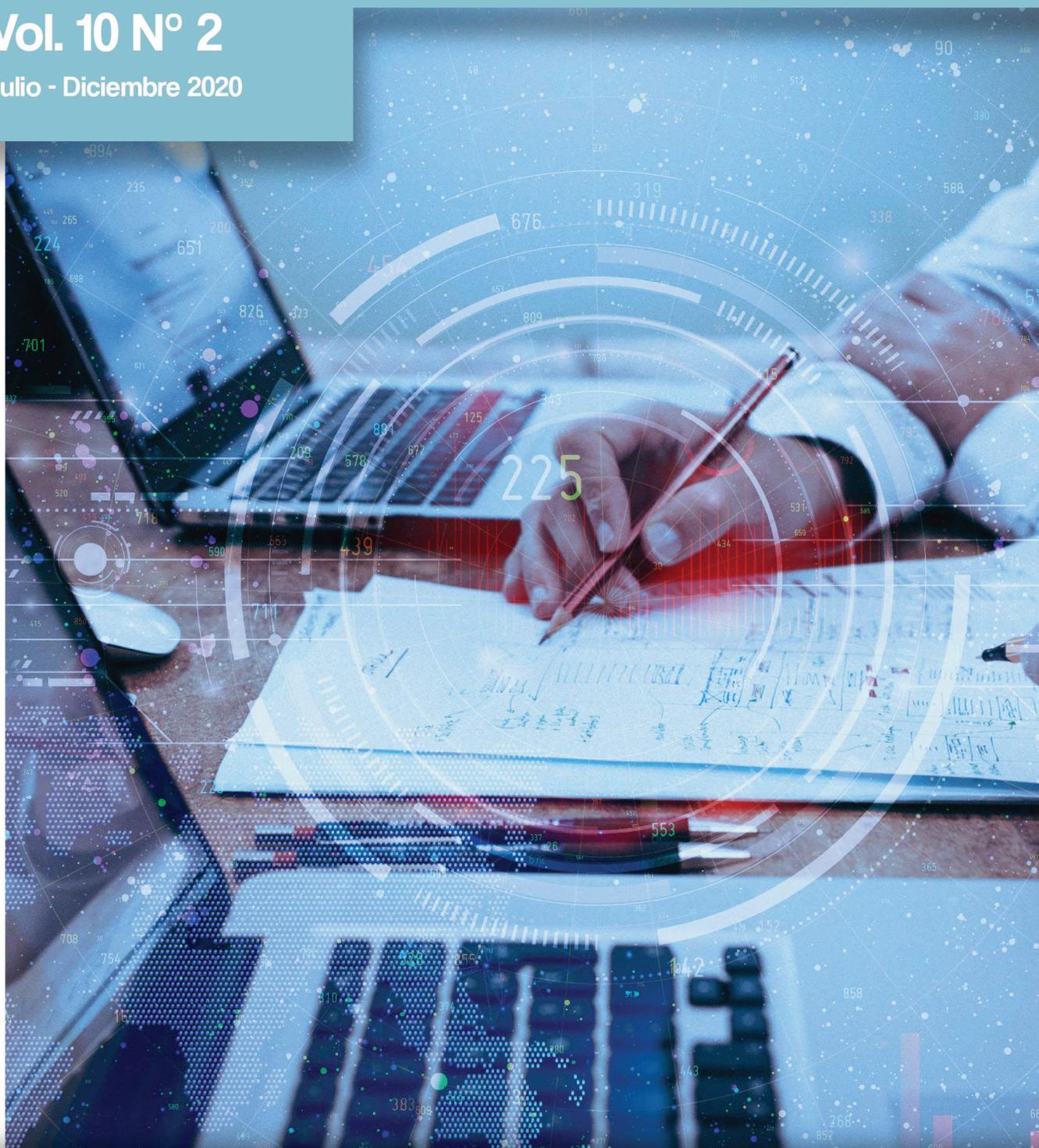
Red de Investigación Estudiantil de la Universidad del Zulia  
Revista Venezolana de Investigación Estudiantil

# REDIELUZ

Sembrando la investigación estudiantil

Vol. 10 N° 2

Julio - Diciembre 2020



ISSN: 2244-7334  
Depósito Legal: pp201102ZU3769



VAC

Universidad del Zulia  
Vicerrectorado Académico

## SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL LLENADO DE BOTELLAS EN PRESENTACIÓN DE 5 LITROS DE AGUA MINERAL

Automated system for the filling of bottles in presentation of 5 liters of mineral water

**Andrés Perpiñán Reyes**

Universidad Privada Dr. Rafael Bellosó Chacín, Maracaibo, Venezuela.

Dirección de correspondencia: andresperpireyes@gmail.com

### RESUMEN

La presente investigación tiene el propósito diseñar un sistema adjunto de llenado automatizado de botellas en presentación de 5 litros para micro empresas embotelladora de agua mineral en Valledupar, Colombia. La investigación es de tipo proyectiva, no experimental, transaccional y de campo. La unidad de análisis estuvo constituida por el sistema de potabilización de agua que poseen las micro empresas como tal. Las técnicas de recolección fueron la observación directa, entrevistas no estructuradas y revisión bibliográfica. Los datos se registraron sistemáticamente a través de fichas técnicas, datasheet, grabadora, block de notas, entre otros. 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 automático, elaboración de planos y estimación de beneficios, obteniendo una llenadora de alto rendimiento, con una producción máxima de 1.350 botellas/h en envases de 5 litros los cuales beneficiarán a más de 600 personas u organizaciones por hora, lo cual impacta en la velocidad de los procesos, la economía del producto de venta y el impulso al emprendimiento en estas organizaciones productoras de agua potable las cuales hoy por hoy, no cuentan con un sistema de llenado efectivo rompiendo así su cadena final de productos.

**Palabras clave:** botellas, llenado, agua mineral, sistema.

### ABSTRACT

The purpose of this research was to design an attached automated filling system for 5-liter bottles for mineral water bottling micro-companies in Va-

lledupar, Colombia. Methodologically, the research was projective, non-experimental, transactional and field-based. The unit of analysis was made up of the water purification system that micro-enterprises have as such. The collection techniques were direct observation, unstructured interviews and literature review. The data was systematically recorded through technical sheets, datasheet, recorder, notepad, among others. They 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 automatic design specifications, drawing up plans and estimation of benefits, obtaining a high-performance filler, with a maximum production of 1,350 bottles / h in 5-liter containers which will benefit more than 600 people or organizations per hour, which impacts on the speed of processes, the economy of the product for sale and the promotion of entrepreneurship in these organizations that produce drinking water, which today they do not have an effective filling system, thus breaking their final product chain.

**Keywords:** bottles, filling, mineral water, system.

---

**Recibido: 31-01-2020 Aceptado: 04-05-2020**

### 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 de suma importancia que esta función se administre de la mejor manera con el fin de alcanzar la ventaja competitiva necesaria para mantenerse en los mercados globales. Y es que generalmente, 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 sea que éste ofrezca bienes materiales o servicios intangibles.

Una de las compañías que ha visto mayores frutos en cuanto a su función de producción ha sido la de agua mineral. Se puede decir que éste es el sector más dinámico de toda la industria de la alimentación y la bebida. Muestra de ello es que el consumo de agua embotellada ha ido creciendo a un ritmo constante en todo el mundo en las últimas décadas, según afirma Díaz (2006), lo cual puede deberse a que las personas tratan de cuidar su salud y su calidad de vida procurando ingerir el vital líquido con la mayor pureza posible. Esto es algo que ha predicado la organización de las naciones unidas a través de la organización mundial de la salud como premisas fundamentales en el sexto objetivo del desarrollo sostenible el cual es agua limpia y tratamiento, convirtiéndose en un eje transversal para el mundo en los años 2020/2030 respectivamente.

Este fenómeno en cuanto a consumo y los buenos hábitos alimentarios, aunado a las deficiencias en el servicio de agua potable que padecen muchos sectores, impulsan a la colectividad a requerir estos productos y han dado cabida para que numerosas plantas, así como empresas venezolanas se incorporen al mercado para cubrir la demanda de agua embotellada. Dentro de este contexto, Díaz (2006) señala que se estima que son más de treinta (30) marcas nacionales compitiendo por este fin.

En tal sentido y de acuerdo con datos de las empresas de investigación, Morillo y Montiel (2011) citan que el agua se encuentra en el segundo lugar de consumo en bebidas no alcohólicas, después de los refrescos, siendo las organizaciones mundiales y que tienen presencia en Colombia las cuales comercializan productos como la Pepsi-Cola, Sprite, Postobon y Coca-Cola las mayores competidoras en el departamento; la primera, en manos de Empresas Femsa y Postobon, las cuales manejan las marcas Cristal y Brisa, líder al 47, 5 y 43,1% del mercado, mientras que la segunda comercializa Nevada, Cifras publicadas por el Diario de La Republica, Colombia.

Generalmente, muchas de estas empresas extraen el agua directamente de Pozo Profundo para, luego, ser sometida a un tratamiento físico acorde con la caracterización de la misma; posteriormente, pasa por una etapa de desinfección, por ejemplo,

el que se da por medio de irradiación de rayos ultravioleta, los cuales eliminan los microorganismos que pueda contener sin alterar su composición. Tal es el caso de la mayoría de las empresas de Valledupar las cuales tiene la tarea de tratar el agua extraída de un pozo para volverla apta al consumo humano.

Estas empresas han tenido años en funcionamiento y siendo proveedoras de pocas organizaciones que realizan el embotellamiento los cuales exigen canales de logística complejos, elevando así los costos de los productos. Esto es causado debido a la poca presencia de empresarios o emprendedores que orienten sus productos o servicios a líneas de producción endógenas y sectorizadas a fin de abastecer los diversos canales logísticos con mayor efectividad.

Últimamente esto ha ocasionado un alza del producto final en la cadena final del mismo (supermercados, panaderías, restaurantes, hoteles, centros de entrenamiento, espacios deportivos, entre otros) por lo que impacta en el bolsillo del ciudadano de Valledupar. Con esta investigación se pretende ubicar soluciones que mitiguen estos problemas originando una idea de negocios para pequeñas empresas productoras de agua potable con sistemas altamente automatizados, modernos y con calidad en la producción del vital líquido. Por esta razón, el propósito de este estudio es Proponer un sistema adjunto de llenado Automatizado de botellas en presentación de 5 litros, para micro empresas embotelladora de agua mineral.

## METODOLOGÍA

Hernández *et al.* (2010) definen la investigación descriptiva como aquellas que busca especificar características importantes de grupos, personas o cosas, sometidas a la investigación. Estos autores indican que las investigaciones descriptivas proponen conocer grupos homogéneos de fenómenos, de acuerdo a criterios sistemáticos para poner de manifiesto su comportamiento. Tamayo y Tamayo (2003), aseguran que un estudio descriptivo comprende el registro, análisis, e interpretación de la naturaleza actual y la composición o proceso de los fenómenos estudiados, es por esta afirmación que esta investigación se considera descriptiva debido a que se caracterizan los fenómenos de llenado de botellas, sus procesos mecánicos y físicos así como las características electrónicas mínimas necesarias para la automatización de un proceso de

vital importancia para asegurar la calidad del agua para el consumo humano.

Para Palella y Martins (2006) el diseño no experimental es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. Por lo tanto, en este diseño no se construye una situación específica, sino que se observan las existentes. En la investigación no experimental se observan fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

En síntesis de lo anterior, esta investigación presenta un diseño no experimental ya que consiste en un diseño donde se establece un análisis del comportamiento de las variables, sin alterar las condiciones naturales del fenómeno en estudio. Es decir, se busca observar los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos, además que esta investigación busca crear una propuesta de automatización para este importante sistema de llenado de agua para el consumo humano.

En cuanto a la población y muestra del estudio, estuvo representada por una unidad de análisis tal y como lo expresa Hernández *et al.* (2010) como una entidad central que estudia los fenómenos unísonos que ocurren en esa pequeña porción de la población y muestra. Para ello la unidad de estudio será la planta para la producción de agua embotellada para el consumo humano.

Ahora bien, para lograr un análisis profundo se utilizará la técnica observación documental-bibliográfica, la cual es el punto de inicio pues permite profundizar el conocimiento sobre la situación a investigar. De acuerdo a Arias (2012) “la revisión documental, consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación”. Por otro lado Tamayo y Tamayo (2003) la define como “la técnica que tiene su apoyo en todo tipos de notas de contenido”, en particular la investigación se apoyó en libros, revistas, entrevistas personales, foros, seminarios relacionados con las áreas pertinentes de la investigación

## RESULTADOS

En cuanto a los resultados de la investigación, se tienen que basado en la documentación, espacios y zonas de estudio, se conoció primero los detalles del proceso productivo, para luego establecer las bases de diseño y poder obtener la factibilidad en cuanto a lo económico, técnico, operativo y social garantizando la sostenibilidad en los procesos.

## Proceso actual del tratamiento del agua

En la Figura 1 se esquematiza el proceso de tratamiento de agua. Este inicia con la extracción de este líquido de un pozo profundo, luego es enviado por una tubería de 2” que tiene conectado un clorinador automático el que dosifica hipoclorito de sodio (a través de un tanque donde se diluye con agua el cloro granulado) para su desinfección; luego pasa a un filtro de carbón activado desferrizador, de control automático, para la reducción de algunos metales en exceso.

Mediante tuberías llega a la primera filtración combinada en desbarradores (un filtro de carbón activado-grava y otro de gravilla-arena sílice) para eliminar su sabor a cloro y separarla de sedimentos. Estos filtros se conectan a un pulidor de una micra que se une a un suavizador automatizado el cual reduce la dureza del agua. Este último, a su vez, está conectado a la ósmosis inversa donde son retenidos algunos iones no deseados. Posteriormente, esta agua, ya tratada (con un 70% de pureza, aproximadamente), es llevada hacia un tanque de almacenamiento con división interna donde reposa para deshacerse de sedimentos hasta ser extraída por un hidroneumático.

Una vez que el agua ya está libre de la mayoría de las sustancias en suspensión, es bombeada para una filtración intensiva (filtro empacado de carbón activado para eliminar cloro, olores y sabores que pueda tener, el cual se conecta a otro filtro de arena sílice en varias degradaciones para eliminar impurezas granulares, sólidos en suspensión, coloides y otras sustancias). Luego atraviesa un pulidor que retiene partículas de 5 micras, luego, es conducida por tuberías hasta un pulidor reforzado de 1 micra (contiene 18 cartuchos de celulosa) para, después, ser almacenada en cuatro tanques de compensación.

A la salida de dichos tanques se encuentra un hidroneumático que bombea el agua en dos direcciones: La primera se dirige a una lámpara ultravioleta para su desinfección y, finalmente, verterla en el reservorio de la máquina llenadora. La segunda va a un ozonizador industrial el cual reparte su caudal en el área de lavado de botellones, una vertiente se dirige al enjuagado con agua caliente y la otra al enjuague final con agua fresca.

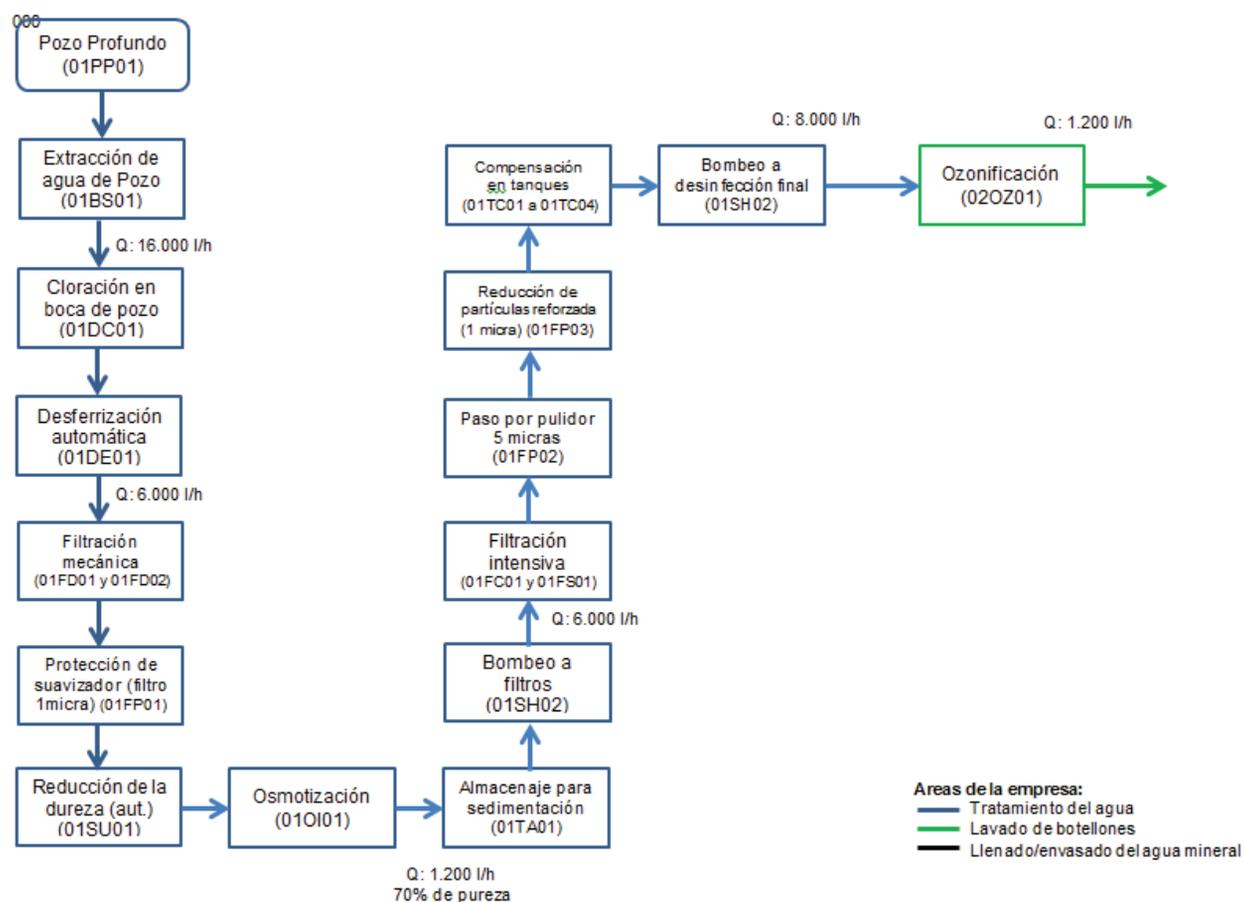


Figura 1. Proceso de tratamiento de agua.

Fuente: Elaboración propia (2019).

### Especificaciones del diseño del sistema adjunto de llenado de botellas de 5 litros

A continuación, se expondrá paso a paso y lo más claro posible el diseño, cálculo y selección de los elementos que conformarán el sistema adjunto de llenado en cuestión. Para ello, se consultaron proveedores en áreas tales como la neumática, metalmecánica, comercialización de maquina industrial, entre otras, a fin de comparar las alternativas existentes, elegir componentes estandarizados y normalizados para lograr una construcción tecnológica con un ensamble y mantenimiento simplificados, asegurando de este modo, la mayor eficiencia al menor costo para así formar un concepto innovador, funcional, eficaz, eficiente y duradero que satisfaga las expectativas de esta empresa así como de otros empresarios que quieran incursionar en el negocio. Además, la máquina debe contar con sistemas seguros para su operación y sencillez en su manejo.

### Tipo de Llenadora o Sistema de Llenado

Para la selección del tipo de llenado que se va a utilizar en el diseño se toma en consideración que en el mercado actual existe gran variedad de llenadoras las cuales se pueden agrupar en tres grandes grupos, tal como han planteado Duarte y Salcedo (2010), Hidalgo (2011) y Bolzoni *et al.* (2014), éstos son: por nivel, volumétricas y ponderales o por peso.

Como se puede observar cada tipo de llenadora y forma de operación presenta ventajas y desventajas que se deben considerar a la hora de su escogencia, pues, no es solo la conformación del sistema de llenado sino, también, su mantenimiento, el cual debe ser adecuado para despachar productos con alta calidad, que cumplan los requisitos de ley. Por ello, a continuación en la Tabla 1 se muestra la valoración de cada una de ellas que ayudará a la selección. Se utilizó una escala del cero (0) al diez (10), siendo éstos el valor más negativo y el más positivo, respectivamente.

Tabla 1. Valoración de alternativas de llenado

	A nivel			Volumétrica	Ponderal
	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 (2019).

Por tanto, 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 neumático. Se prefiere de esta manera porque el nivel de producción es moderado y se empleará para envasar agua que no es viscosa ni carbonatada, además, productos de más de una presentación podrán ser colocados simultáneamente en las boquillas.

Debido a que se ha decidido utilizar un sistema de llenado a presión es necesario contar con una bomba, la cual alimentará a las boquillas de llenado desde el tanque de rebose por medio de un circuito de control: Se colocará un sensor de proximidad (deber ser óptico por norma) infrarrojo a fin de captar la posición de las boquillas cuando desciendan para el llenado. Esta señal, a su vez, activará al variador de frecuencia del motor eléctrico acoplado a

de la bomba, cuya regulación se hace previamente seleccionando, por ejemplo, que llene los primeros 5 segundos a la máxima velocidad y que luego amigre hasta un 70%.

El variador de frecuencia es importante para el sistema porque permite controlar la velocidad de llenado evitando salpicaduras cuando se eleven las boquillas, reduce el consumo de energía eléctrica y alarga la vida del motor. Cabe señalar que se puede trabajar la llenadora sin este elemento procurando que trabaje a una velocidad moderada. Otra forma de variar la velocidad es que el apagado y encendido de la bomba se haga manualmente, sin embargo, esto aplicaría a aquellos casos en que los volúmenes de fluido son cuantiosos, por lo que se recomienda el bucle de control de proceso de la Figura 2.

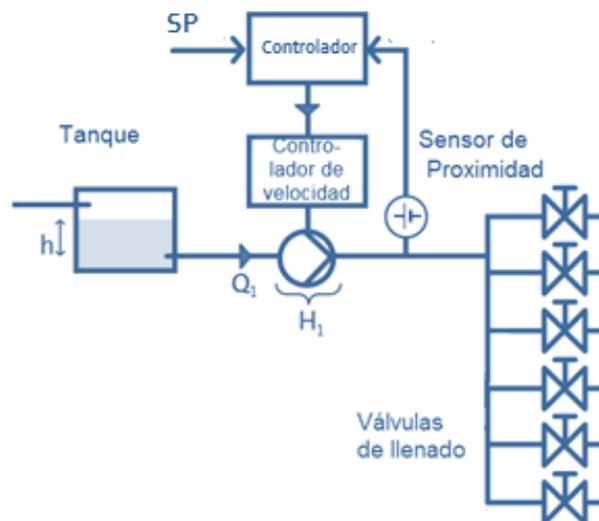


Figura 2. Bucle de control de proceso propuesto.

Fuente: Elaboración propia (2019).

Para la selección apropiada de la bomba se requieren tres datos fundamentales: El 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 Díaz (2006) y Mott (2006), por lo que se procederá a calcular cada uno de ellos. Se pretenden proporcionar desde las válvulas de llenado a las botellas.  $Q_b = (5 \text{ l} \times 6) \div 11 \text{ s} = 30 \text{ l} \div 18 \text{ s} = 2,7272 \text{ l/s}$ . Este valor representa el caudal requerido para la bomba en caso de que el flujo fuese constante. Sin embargo, el mismo es intermitente por lo que debe calcular con el tiempo total del llenado (vertido del líquido + traslado fuera de las boquillas) porque será lo que demande la llenadora por operación, entonces:  $Q_b = 30 \text{ l} \div 18 \text{ s} = 1,6667 \text{ l/s} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ . Convirtiendo este valor en galones/min: 26,4556 gal/min 27 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 1/2" (38 mm) para la succión y de 1 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 al 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). Cabe señalar que se recomienda instalar una válvula check a la salida de la bomba en acero inoxidable 316L.

Siguiendo el Apéndice Técnico de la empresa ESPA, primer fabricante español de bombas y sistemas de gestión del agua, en el mismo se indica que 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 y si es mayor a 5 m/s pueden originar abrasiones. La fórmula que plantea dicho fabricante para obtener la velocidad en m/s es:  $v = 354 \cdot Q \div d^2$ . Donde Q es el caudal expresado en m<sup>3</sup>/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, que representa la cantidad de energía que entrega la bomba al fluido, según Mott (2006) 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  $H_s = h_s + h_{fs}$ , 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  $h_{fs}$  es la pérdida de carga en la succión (m). Asimismo  $H_i = h_i + h_{fi}$ , 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  $h_{fi}$  es la pérdida de carga en la tubería de impulsión. Por tanto,  $H_A = H_s + H_i + h_{fs} + h_{fi}$ .

Se procederá a obtener las pérdidas de fricción, para ello, primero se obtuvieron los números de Reynolds donde los resultaron por secciones fueron: boquillas ( $v = 2,2632 \text{ m/s}$ )  $Re = 35.966,1889$ ; de las boquillas al manifold ( $d = 0,0191 \text{ m}$  (3/4"), el caudal se divide en seis conductos por tanto  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $v = 0,9806 \text{ m/s}$  obtenida con la fórmula dada por Espa  $Re = 18.602,7333$ ; en el cuerpo del manifold ( $d = 1/2" = 0,050 \text{ m}$ ,  $v = 0,8496 \text{ m/s}$ )  $Re = 42.192,5731$ ; desde el manifold a la bomba ( $d = 0,032 \text{ m}$ ,  $v = 2,0742 \text{ m/s}$ )  $Re = 65.925,3000$ ; desde la bomba al tanque de rebose ( $d = 0,038 \text{ m}$ ,  $v = 1,4709 \text{ m/s}$ )  $Re = 55.516,0104$ . 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 la cual es:  $f = 0,316 \div (Re)^{0,25}$

Según 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 que es apropiada tanto para flujo laminar como para turbulento obteniéndose los siguientes resultados Para la sección de las boquillas ( $L = 0,2540 \text{ m}$ )  $h_f = 1,5200 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ; de las boquillas al manifold ( $L = 0,678 \text{ m}$ )  $h_f = 3,3770 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ; en el cuerpo del manifold ( $L = 0,8382 \text{ m}$ )  $h_f = 2,0579 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ; desde el manifold a la bomba ( $L = 0,80 \text{ m}$ )  $h_f = 1,0984 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ; desde la bomba al tanque de rebose ( $L = 0,35 \text{ m}$ )  $h_f = 5,8910 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ . Así el total de pérdidas por fricción es la sumatoria de las del tramo de succión más el tramo de descarga:  $h_f = 5,8910 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 3,1619 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 3,2208 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ .

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 (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 ( $K=0,50$ ),  $h_f = 0,1657$  m. Para el segundo, se tiene salida de tubo ( $K=1$ ), válvula de retención ( $K=2,50$ ), codo de  $90^\circ$  ( $K=0,90$ ), dos reducciones graduales ( $K=0,15 \cdot 2 = 0,30$ ), seis boquillas ( $K=2,5 \cdot 6 = 15$ ), por lo tanto,  $h_f = 4,3243$  m. Las pérdidas por cargas menores son entonces:  $h_f = 0,1657$  m +  $4,3243$  m =  $4,4897$  m. Así la pérdida de carga total viene dada por:  $h_L = h_f + h_i = 3,2208 \cdot 10^{-3}$  m +  $4,4897$  m =  $4,4929$  m. Ahora se procede a retomar la ecuación de la altura manométrica:  $H_A = H_s + H_i + h_s + h_i$ , sustituyendo valores,  $H_A = 0,80$  m +  $0,35$  m +  $0,1658$  +  $4,4928$  m =  $5,8086$  m. Esto equivale a  $0,5696$  bar =  $56,9614$  Kpa. La potencia necesaria de esta bomba será:  $P_b = Q \cdot H_A \div 76 \cdot N$ , donde  $P_b$  es la potencia de la bomba (Hp),  $H_A$  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 y Ramírez (2010). Así se obtiene una potencia de  $0,1274$  Hp  $\frac{1}{2}$  Hp.

También se calcula el NPSH para mayor seguridad en la escogencia del equipo. Su fórmula viene dada por:  $NPSH = P_{atm} - (P_{vapor} + H_s + h_s)$ , donde la presión atmosférica está en m al igual que la presión de vapor que no es más que 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 (2006) para  $20^\circ\text{C}$ .  $P_{atm}$  se considera como atmósfera normal porque la ciudad de Maracaibo se encuentra casi al nivel del mar y su valor es  $1$  bar =  $1$  atm =  $10,1974$  m de agua. Sustituyendo valores NPSH es  $9,6816$  m.

Con la información obtenida anteriormente es posible seleccionar desde catálogos de proveedores la bomba que se requiere. Debe tenerse presente que la misma bomba tiene la exigencia de suministrar  $27$  GPM a una presión de  $56,9614$  Kpa =  $21,79$  PSI. Estos son valores críticos que representan las cantidades mínimas demandadas de flujo y

presión, respectivamente. Sin embargo, de acuerdo a las recomendaciones de autores especialistas en el tema como Mott (2006), Trapote (2014) y fabricantes como Espa, 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.

Se sabe que las tuberías de succión y descarga tienen diámetros de  $1 \frac{1}{2}$ " y  $1 \frac{1}{4}$ " respectivamente, por lo que se busca una bomba con entrada y salida concordante, asimismo, debe ser apta para operaciones en el sector alimentos y bebidas. Consultando proveedores se encontró que hay 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.

El fabricante Ebara también presenta gran variedad de bombas en acero inoxidable cuyas prestaciones se adaptan a los requerimientos, ya que es líder mundial en esa área, pero considerando que la empresa tiene una bomba sumergible de la marca Hasa se selecciona ésta última para mantener la homogeneidad de los equipos.

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. Bolzoni *et al.* (2014)

Para seleccionar el pistón es necesario calcular la fuerza que se requiere para vencer la resistencia de compresión del resorte que tienen 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 que el material del resorte sea 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 que 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. Hidalgo (2011)

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 estima-

ción se realizó con la altura de la botella de mayor volumen se considera que es 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. De acuerdo con el profesor Pérez (S/F), el consumo de aire de una instalación completa o de un elemento de la misma se calcula referido a condiciones normales que según la ISO R554 son: Temperatura de 20°C, Presión de 1,013 mbar y una Humedad relativa del 65%. El consumo de aire por metro de carrera estará dado por la fórmula de Festo: y Aplicando la ley de Boyle-Mariotte se obtiene la relación de compresión a 6 bar de operación sería la siguiente:

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

De los datos de producción se sabe además que 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:

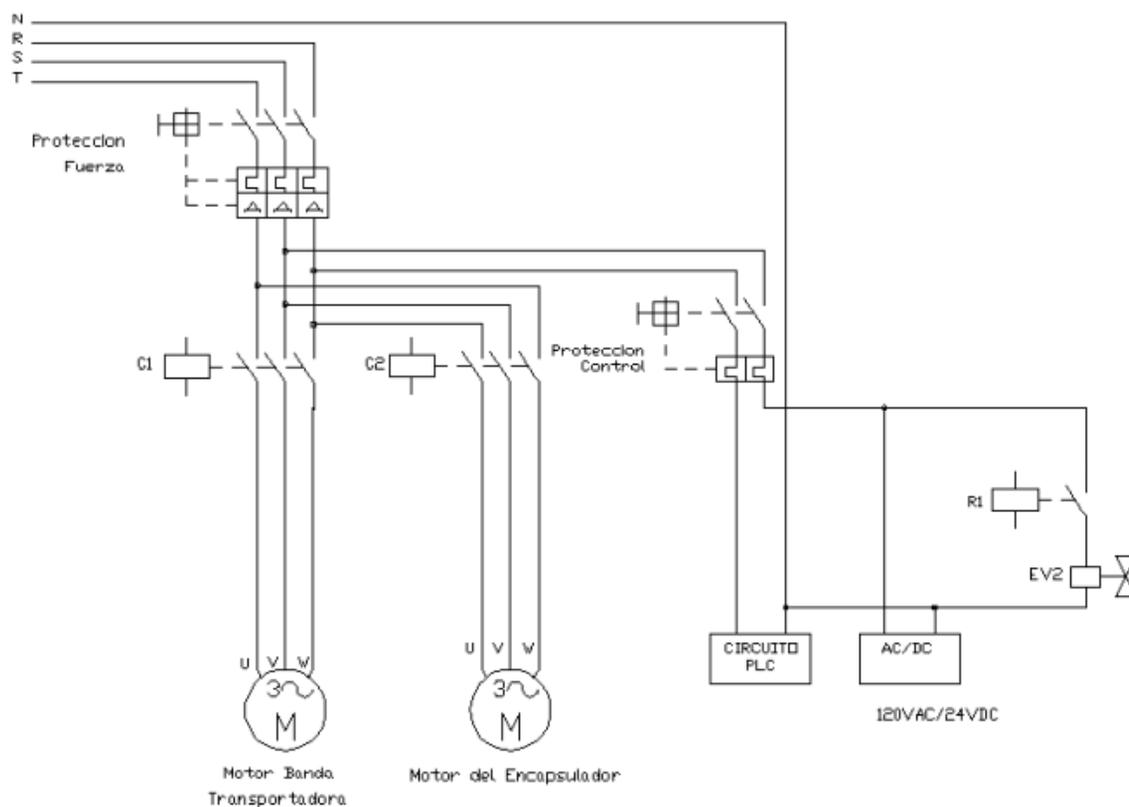
$$\dot{V} = \left\{ \frac{0,254 \text{ m} \cdot (0,032 \text{ m})^2 \pi}{4} + \frac{0,254 \text{ m} [(0,032 \text{ m})^2 - (6 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2] \pi}{4} \right\} \cdot 8,0556 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \cdot 6,9230$$

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

Eso consumirá el cilindro diario y 0,4513 l/ciclo. Es importante aclarar que 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. Duarte y Salcedo (2010)

El sistema automatizado de la línea embotelladora, se da a partir de un PLC siemens S7-200 el cual es adecuado y compacto para la cantidad de variables a regular en este sistema, mientras que en el área eléctrica, el circuito principal está distribuido de la siguiente manera: Dos motores trifásicos para la banda transportadora y al encapsulador y el circuito de Control.



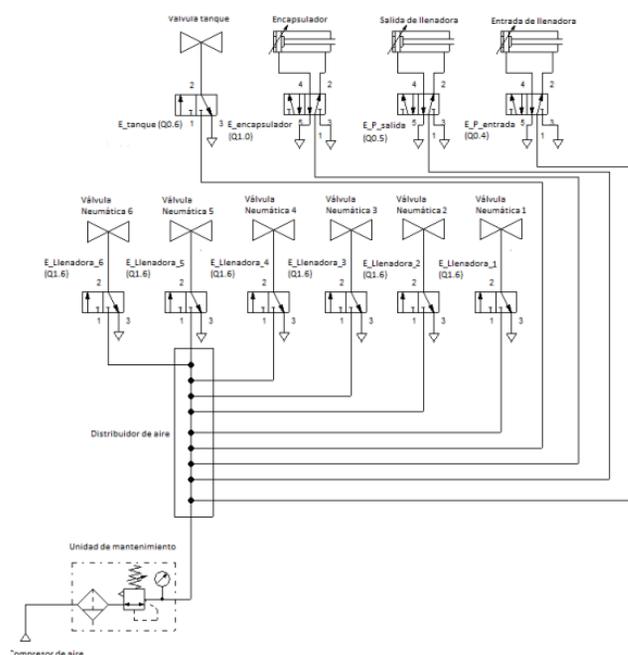


**Figura 5. Circuito eléctrico**

Fuente: Elaboración propia (2020).

También, se necesita conocer el accionar neumático y de control que debe de tener el sistema para accionar las diferentes etapas del proceso tal

y como lo expresa Creus (2011). En la Figura 6 se presenta el esquema neumático alineado a la ISA S20.



**Figura 6. Circuito Neumático**

Fuente: Elaboración propia (2020).

## Beneficios Económicos

En el área ingenieril siempre ha sido importante hacer un estimado de los costos de un proyecto y los beneficios que genera a fin de medir la factibilidad del mismo, por lo que a continuación se presentan los costos de adquisición de máquinas

llenadoras y sistemas similares al diseñado en el mercado nacional e internacional de manera que se cotejen con la alternativa propuesta. En tal sentido, en la Tabla 2 se muestran los precios obtenidos de diversos proveedores considerando su transporte hasta el país, en caso de ser importada; el traslado a nivel nacional no está incluido.

**Tabla 2 Cotización del diseño propuesto**

Elemento	Costo Total USD \$
Bancada o base estructural	695
Boquilla de llenado tipo overflow	210
Manifold	164
Tanque de Rebosamiento	385
Bomba	275
Cilindro	85
Transportador	825
Sistema de automatización	2000
<b>TOTAL</b>	<b>4639</b>

Tiempo de recuperación 3 años

Fuente: Elaboración propia (2020).

## DISCUSIÓN

Tal y como se presentó en la investigación en la cual se alcanzó el diseño de un sistema adjunto de llenado de botellas automatizado, la misma se consolida mediante los postulados de referentes teóricos como Groover (2012), Creus (2011) y Mott (2006) en las áreas de mecánica de fluidos, fabricación y automatización respectivamente. También se alcanzaron niveles de sostenibilidad acordados por Duarte y Salcedo (2010) para este tipo de sistemas que no supera los tres años de retorno, lo cual hace totalmente viable la operación y factibilidad de estas instalaciones.

También lo señalan Silva *et al.* (2018) en cuanto a la importancia del espacio y lo compacto que deben ser estas instalaciones de producción de agua y lo rentable en el tiempo que estas puedan ser en función de brindarle al usuario un costo beneficio atractivo, garantizando su salud en primer plano.

Por otra parte, Velásquez *et al.* (2017) Afirman que las dimensiones de un sistema compacto suelen ser adaptadas a espacios donde haya presencia de recursos tal y como se presentó en la presente investigación, lo cual hace también viable en

función del estudio de pre factibilidad en cuanto al terreno y a la segmentación de los usuarios, por tanto se considera un estudio valido ante esta comunidad científica.

## CONCLUSIONES

Una vez terminado el proceso de investigación para el diseño de un sistema adjunto de llenado de botellas automatizado en presentación de 5 litros se llegan a las siguientes conclusiones derivadas más importantes en las cuales se destaca que la mayoría de las embotelladoras de Agua se utilizan equipos comunes a estas plantas que van desde filtros para el tratamiento físico y químico, pulidores, suavizador, desferrizador, clorador, lámpara ultravioleta, sistema de ósmosis inversa, bombas de impulsión, hasta máquina automática lavadora de botellones y máquina neumática llenadora, entre otros.

Además, su capacidad productiva es de 1.020 botellones/día aun cuando la capacidad instalada es de 1.100 botellones/día de manera manual, evidenciándose un déficit en el rendimiento de los equipos o bien un mal dimensionamiento de los mismos. La planta sólo produce agua embotellada

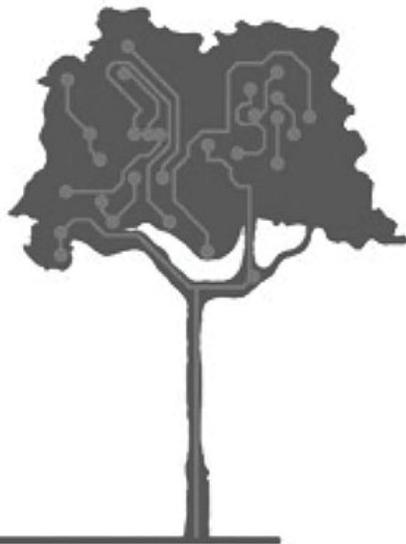
en botellón (18-20 litros), a pesar de que en la zona donde está establecida la demanda por otras presentaciones es elevada, razón por la cual comienza su proceso de expansión en el mercado con la construcción de un laboratorio que permitirá expender estos productos (línea adjunta).

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arias F. (2012). El proceso de investigación, Guía para su elaboración, 6ta ed, pág. 23 – 234. Episteme, Caracas, Venezuela.
- Bolzoni M., Folli G., Cima G., Nucci C., Battistini E. (2014). Sistemas de llenado para el sector bebidas. OCME Competence Library. [Reporte Técnico en Línea]. Disponible en: [www.ocme.com](http://www.ocme.com).
- Creus S (2011) Instrumentación Industrial. Editorial Alfaomega. 4ta, pág. 129 – 432 Edición en español. Libro en Físico. México DF.
- Díaz J. (2006). Mecánica de Fluidos e Hidráulica. Cali, pág. 87 – 214 Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Duarte M., Salcedo J. (2010). Diseño y Construcción de una Máquina Envasadora de Licores. Tesis de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Pág. 23 – 124 San Cristóbal, Venezuela.
- Groover M. (2012). Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas, pág. 56 – 321. Madrid, España: Pearson Educación.
- Hernández R., Fernández C., Baptista P. (2010). Metodología de la investigación, 6ta ed, en español, pág. 45 – 345. Libro en Físico editorial McGraw-Hill, México DF.
- Hidalgo J. (2011). Tratado de Enología I. (2a. ed.). pág. 34 – 120. D.F., México: Mundi-Prensa Libros.
- Mora L., 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. pág. 12 – 156, San Cristóbal, Venezuela.
- Morillo R., Montiel A. (2011). Estudio de la Factibilidad Técnico-Económica para el Diseño de una Planta Embotelladora de Agua Potable en la Ciudad de Maracaibo. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Industrial. pág. 12 – 134. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.
- Mott R. (2006). Mecánica de Fluidos. (6ta. Ed.) México, pág. 18 – 234 Pearson Educación.
- Norma COVENIN 10: XIII-002. Agua Potable. Métodos de Ensayo. pág. 1 – 12, Caracas: Fondo-norma.
- Parella S, y Martins, F. (2006). Metodología de la investigación cuantitativa. 4ta Ed FEDUPEL, pág. 23 – 123 Caracas, Venezuela,
- Rosales J. (2010). Elementos de Microeconomía. pág. 27 – 133, San José, Costa Rica: EUNED.
- Silva V., Cárdenas M, Cárdenas M. (2018). Evaluación de la planta de tratamiento de agua residual en una empresa de curtiembre ubicada en el municipio junín, Táchira - Venezuela. Revista Venezolana de Investigación Estudiantil REDIELUZ, 8 (1): 51-59.
- Tamayo y Tamayo M. (2003). El proceso de investigación científica. 2da Ed, pág. 12 – 223. Limusa, México.
- Trapote A. (2014). Infraestructuras Hidráulico-Sanitarias I. Abastecimiento y distribución de agua. (2a. Ed.). pág. 11 – 113, España: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Velásquez J; Gonzales J. (2017). Prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas de plástico. Industrial Data, 20 (1): 125-130. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=816/81652135015>.



# ENSAYO



**REDIELUZ**

Sembrando la investigación estudiantil



## ENSAYO

# LA MUERTE DEL LIBERTADOR “SIMÓN BOLÍVAR”: REFLEXIÓN Y ANÁLISIS DESDE LOS AVANCES DE LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA

The death of the Liberator “Simón Bolívar”: reflection and analysis from the advances of the contemporary science

**Fernando Guzmán Toro**

Cátedra de Ética Médica y Deontología Médica,  
Facultad de Medicina, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela  
Dirección de correspondencia: ferguztoro1@gmail.com

### RESUMEN

El objetivo de este ensayo es una discusión del informe sobre las causas de la muerte del Libertador Simón Bolívar realizado por la “Comisión Presidencial” que tenía como finalidad realizar un estudio anatómico forense de sus restos y mediante un análisis de ese informe se plantean en el ensayo algunas conclusiones al respecto. La “Comisión Presidencial” consideró como una de las posibles causas de su fallecimiento la utilización del polvo de cantárida que sería responsable de insuficiencia renal. Entre las conclusiones de este ensayo se destacan que el análisis del ADN no evidenció la presencia de *Mycobacterium tuberculosis*, una ausencia de evidencia científica de una posible intoxicación con arsénico y sólo se dispuso del esqueleto óseo para establecer una posible causa de su muerte.

**Palabras clave:** Libertador, muerte, *Mycobacterium*, anatómico, forense, arsénico.

### ABSTRACT

The objective of this essay is a discussion of the report about the causes of the death of the Liberator Simón Bolívar made by the “Presidential Commission” whose purpose was a forensic anatomical study of the mortuary remains and through the analysis of this report some conclusion are considered. The “Presidential Commission” considered as one of the possible causes of his death the use of cantharid powder which would be responsible for kidney failure. Among the conclusions of this essay are that the DNA analysis did not show the presen-

ce of *Mycobacterium tuberculosis*, an absence of scientific evidence of possible arsenic poisoning and only the skeleton was available to establish a possible cause of death.

**Keywords:** Liberator, death, *Mycobacterium*, anatomical, forensic, arsenic.

---

**Recibido: 12-01-2020 Aceptado: 30-05-2020**

### INTRODUCCIÓN

Es importante destacar que existe consenso con respecto a la causa de la muerte del Libertador Simón Bolívar como consecuencia de una tuberculosis; sin embargo, algunos historiadores y médicos discrepan de la historiografía oficial debido a que en el momento histórico que le correspondió al Libertador, eran diferentes las enfermedades de carácter infeccioso que podían afectar a un individuo, situación que se agravaba por la ausencia de métodos diagnósticos adecuados y una terapéutica eficaz dirigida a un agente en particular.

La tuberculosis es una enfermedad producida por una bacteria del género *Mycobacterium* y la infección por el *Mycobacterium tuberculosis* no necesariamente implica que se presentará la enfermedad. En la mayoría de las personas cuando se produce el contacto con la bacteria, se manifiesta como una tuberculosis primaria que generalmente es asintomática y que es poco probable que produzca una enfermedad diseminada (García y Palacios, 2010).

El contacto con la bacteria produce una actividad del sistema inmune y el desarrollo de una inmunidad celular antimicrobiana, cuyas manifestaciones en el parénquima pulmonar como consecuencia de la hipersensibilidad son: la presencia de granulomas caseosos o la formación de cavernas y es lo que se conoce como una tuberculosis secundaria, que aparece en una persona quien había tenido un contacto previo con el *Mycobacterium tuberculosis* pero que presenta una disminución de los mecanismos de resistencia ante la bacteria; también puede ser producido por una nueva infección o contacto con bacilos virulentos y agresivos (García y Palacios 2010).

Al estar presente una tuberculosis secundaria, las manifestaciones clínicas suelen ser insidiosas y se caracterizan por: fiebre que suele aparecer a mitad de la tarde y que luego desaparece, tos con expectoración mucosa y que posteriormente se transforma en purulenta, hemoptisis o tos con expectoración sanguinolenta y dolor torácico como consecuencia de extensión de la infección a la superficie de la pleura.

Es fundamental para realizar el diagnóstico, no sólo los hallazgos que se observan al examen físico o los síntomas que refiere el paciente, sino que es necesaria la identificación del bacilo tuberculoso.

Existirían diferentes planteamientos acerca de las posibles causas relacionadas con la muerte del Libertador Simón Bolívar que incluyen: tuberculosis, absceso hepático, insuficiencia renal como consecuencia de algunos de los medicamentos utilizados y es importante enfatizar que estas controversias surgen acerca de las diferentes interpretaciones de los informes relacionados con la evolución de la enfermedad del Libertador redactados por el doctor Alejandro Próspero Reverend; El objetivo de este ensayo es una discusión del informe sobre las causas de la muerte del Libertador Simón Bolívar realizados por la "Comisión Presidencial para la Planificación y Activación del Proceso de Investigación Científica e Histórica sobre los Acontecimientos Relacionados con el Fallecimiento del Libertador Simón Bolívar y el traslado a la Nación de sus restos mortales" que tenía como finalidad realizar un estudio anatómico forense y participarían la Unidad Criminalística de la Fiscalía, el IVIC (Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas) y el IDEA (Instituto de Estudios Avanzados) con la finalidad de dilucidar las posibles causas de su fallecimiento.

## LA AUTOPSIA DEL LIBERTADOR REALIZADA POR ALEJANDRO PRÓSPERO REVEREND

Al evaluar los diferentes hallazgos macroscópicos de la autopsia del Libertador son interesantes y reveladores las siguientes evidencias:

a. La existencia de adherencias de las pleuras costales, que está presente en las tuberculosis, pero que no es un hallazgo patognomónico, debido a que también se relaciona con otros procesos inflamatorios del parénquima pulmonar y de la pleura diferentes a las infecciones por *Mycobacterium tuberculosis*.

b. La descripción realizada por Alejandro Próspero Reverend evidencia en el pulmón derecho un parénquima pulmonar desorganizado.

c. La presencia de tubérculos, que son indicativos de la existencia de tuberculosis; sin embargo, no es necesariamente una causa de muerte.

Reverend no describe la existencia de cavernas, que es un hallazgo que caracteriza a la tuberculosis, aunque pueden estar presentes lesiones cavitadas en otras infecciones tales como las producidas por bacterias Gram negativas como la *Klebsiella* que afecta a pacientes debilitados y desnutridos, y también en infecciones por gérmenes anaerobios.

Alejandro Próspero Reverend al referirse a la cara convexa del hígado la describe como: "un poco excoriado"; sin embargo, no está claro el sentido de esta frase desde el punto de vista de la autopsia, y es importante destacar que la excoriación en la cara convexa del hígado la relaciona el doctor Alfonso Michel Torres (2008) con un posible absceso hepático en su artículo titulado: "Simón Bolívar, su muerte, los médicos", debido a que los resultados de la autopsia reportan no sólo un hígado con una excoriación en su superficie convexa sino también refiere el Dr. Reverend, la existencia de un hígado de un volumen muy considerable y la presencia de una vejiga de la hiel distendida, que es el término utilizado para referirse a la vesícula biliar.

La presencia de un líquido verdoso en el interior de la cavidad pericárdica es un hallazgo al cual se le otorgó poca importancia y surge la interrogante: ¿Cuál fue la causa de la presencia de un líquido con esas características en la cavidad pericárdica? La pericarditis tuberculosa produce un derrame pericárdico y posterior en su evolución, pudiese ocasionar una pericarditis constrictiva como consecuencia de la fibrosis del pericardio; sin embargo, en la tuberculosis con afectación del pericardio, el líquido suele ser de un color amarillento o citrino.

Estos hallazgos de Alejandro Próspero Reverend en la autopsia son importantes tenerlos en consideración debido a que es necesario correlacionarlos con la sintomatología y los hallazgos al examen físico presentes en el Libertador Simón Bolívar.

Un hallazgo clínico en pacientes con tuberculosis y que se considera como una de las causas de muerte es la hemoptisis, que es definida por Argente y Álvarez (2006) como la eliminación de sangre posterior a episodios de tos y que se suele presentar como consecuencia de cavernas que erosionan a un vaso sanguíneo; sin embargo, en el informe clínico de Alejandro Próspero Reverend no se señala la presencia de hemoptisis, que es una de las causas de muerte en la enfermedad.

Otro hallazgo presente en el boletín 31, un día antes de su muerte, es la hematuria u orina con sangre; en los casos de una tuberculosis diseminada, se puede presentar una tuberculosis renal, cuya manifestación clínica es la hematuria, no obstante, en la autopsia realizada por el Dr. Reverend se describen los riñones en un buen estado y la vejiga enteramente vacía y pegada al pubis, sin ningún carácter anormal.

En los casos de hematuria asociada a afección renal por una tuberculosis diseminada, están presentes cambios y alteraciones macroscópicas que pudieron ser evidentes en la autopsia si hubiesen estado presentes, y es necesario plantearse otras posibilidades tales como una nefritis aguda y una necrosis tubular aguda que se relacionan en algunas circunstancias con deshidratación y con la utilización de algunos fármacos y sustancias.

Es importante señalar, que entre los medicamentos utilizados en la época destacan los vegetales, que eran una serie de agentes empleados según el farmacólogo Litter (1961) para irritar la piel sana, con la finalidad de aliviar el dolor de estructuras profundas tales como vísceras y músculos.

Entre las sustancias que eran utilizadas, destacaban la mostaza negra que contenía el glucósido sinigrina y la enzima miosina, que por hidrólisis origina el principio activo: isotiocianato de alilo; otra de las sustancias utilizadas eran las cantáridas, insectos disecados de la especie *Cantharis vesicatoria*, cuyo principio activo es la cantadirina que ejerce una acción irritante local y también acciones a distancia que incluyen una acción analgésica profunda y acción sobre algunos centros del Sistema Nervioso como los centros bulbares, que incrementan la frecuencia de la respiración y de la presión arterial (Litter 1961).

La cantadirina se excreta por vía renal y produce en el riñón un cuadro clínico de nefritis con hematuria (sangre en la orina); una de las causas para su abandono terapéutico (Litter 1961).

La cantárida se vincula con la hematuria que presentó el Libertador Simón Bolívar en los últimos días de su padecimiento, y al analizar el curso de la enfermedad del Libertador, es motivo de interés considerar cuáles pudiesen haber sido las causas de la hematuria u orinas sanguinolentas cuando el mismo Alejandro Próspero Reverend describe en la autopsia a ambos riñones en buen estado. Es importante señalar que la hipótesis de las posibles consecuencias de algunos de los fármacos sobre el riñón no puede ser desestimada, debido a los efectos que pueden tener diferentes medicamentos que ocasionan una nefritis medicamentosa (Litter 1961).

El Dr. Ramón Zamora (1997), microbiólogo, al reflexionar en el ensayo “El diagnóstico diferencial de la enfermedad final del Libertador”, plantea que cuando se realiza y estudia una enfermedad infecciosa, el diagnóstico sólo queda demostrado cuando se logra comprobar la existencia de un agente causal; aunque no es la intención del Dr. Zamora (1997) generar una polémica, plantea en su ensayo que las controversias acerca del diagnóstico de la enfermedad del Libertador Simón Bolívar no han concluido.

La tuberculosis activa se diagnóstica cuando el microorganismo se aísla de líquidos o tejidos respiratorios debido a que los síntomas y signos son inespecíficos y pueden estar presentes en diferentes enfermedades pulmonares. La confirmación bacteriológica es definitiva desde el punto de vista diagnóstico y no puede considerarse una equivocación plantearse otras posibilidades, cuando se posee exclusivamente el informe de Alejandro Próspero Reverend y la concreción calcárea extraída durante la autopsia.

Se han realizado diferentes debates para discutir acerca de la enfermedad del Libertador. Uno realizado en Colombia, planteó como posibilidades diagnósticas: tuberculosis, absceso hepático y paludismo; el realizado en Caracas en 1963, intitulado: “Enfermedad causal de la muerte del Libertador desde el punto de vista médico-histórico” y otro realizado en Valencia en 1980 que se denominó: “Enfermedad, muerte y autopsia del Libertador” concluyeron que la enfermedad final del Libertador fue tuberculosis (Zamora 1997).

Durante el debate que se realizó en Caracas respecto a la muerte del Libertador, se presentaron varios planteamientos e hipótesis, y Ricardo Archila destacado médico e historiador enfatizó que en Venezuela existía consenso a favor de la tuberculosis pulmonar (Molinares 1979).

El Doctor José Ignacio Baldó (1974), quien fue médico jefe del Departamento de Enfermedades Crónicas e Higiene del Adulto del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social y destacado profesional de la medicina venezolana, consideraba que el Libertador Simón Bolívar fue afectado de una tuberculosis nódulo-fibrosa o nodular-cirrótica, que suele aparecer posterior a una primo-infección que no llegó a sus últimas etapas. El Dr. José Ignacio Baldó (1974) planteaba que la sintomatología que presentaba esta forma clínica de la tuberculosis era escasa y se podía mantener asintomática durante mucho tiempo.

Entre las conclusiones de la discusión realizada en Caracas destacan:

1. Los antecedentes familiares del Libertador comprueban que éste vivió en su infancia en un ambiente familiar propicio para el contagio tuberculoso.

2. El hallazgo de un nódulo calcificado en el pulmón izquierdo extraído durante la autopsia, conducen a considerarlo como la secuela de una primo-infección tuberculosa.

3. Los datos aportados por el expediente clínico permiten confirmar el diagnóstico de tuberculosis como enfermedad principal final.

4. Los datos suministrados por la autopsia son concluyentes para determinar el diagnóstico de tuberculosis.

El doctor Zamora (1997) destaca, que el Libertador Simón Bolívar visitó varios países durante las diferentes campañas en las cuales participó, con la posibilidad de estar expuesto a la influencia de diversos agentes patógenos y enfermedades infecciosas.

Es importante una hipótesis vinculada con la muerte del Libertador relacionada con unos bebedizos que fueron preparados por el Dr. M. Night a los pocos días posteriores a su llegada a Santa Marta; el Dr. M. Night era cirujano de la goleta Grampus de los Estados Unidos, con quien Próspero Reverend conferenciaría acerca del estado de salud del Libertador.

“A la diez de la mañana conferenciamos el Dr. M. Night y yo para arreglar un método curativo, y lo hicimos en estos términos: los remedios pectorales mezclados con los narcóticos y expectorantes, dando al mismo tiempo una pequeña dosis de sulfato de quinina para entonar el estómago” (Reverend 1978).

El Libertador se sentía muy disminuido en su salud, meses antes de su encuentro con Reverend y Night, y en carta al general Rafael Urdaneta fechada el 16 de Octubre de 1830 desde Soledad, el Libertador hace referencia a su situación actual: “Me tiene Ud., aquí detenido a causa de mi salud que se ha deteriorado mucho, porque los males de que adolezco se han complicado de una manera muy penosa” (Bolívar 1992).

El Libertador en esa carta destaca una recaída de su antiguo reumatismo y el deterioro de su salud por la ausencia de un médico regular; era tan acentuado el compromiso de la salud del Libertador, que en la misma carta enfatiza en su decisión de no participar en funciones de gobierno: “Todo esto, mi querido general, me imposibilitaría de ofrecer volver al gobierno” (Bolívar 1992).

La descripción del primer Boletín de Alejandro Próspero Reverend sobre la enfermedad del Libertador, fechada el 1 de Diciembre de 1830, evidencia sus malas condiciones: “Lo encontré en el estado siguiente: cuerpo muy flaco y extenuado, el semblante adolorido y una inquietud del ánimo constante” (Reverend 1980).

Alejandro Próspero Reverend se refiere al estado de salud del Libertador como grave y delicado: “la enfermedad de su excelencia me parece de las más graves” (Reverend 1980).

## **CONTROVERSIAS Y DILEMAS POSTERIORES A LA EXHUMACIÓN DE LOS RESTOS DEL LIBERTADOR SIMÓN BOLÍVAR**

Existen dudas relativas a la muerte del Libertador Simón Bolívar debido a que se suele vincular la realidad con el mito, y en estas circunstancias surgen hipótesis, teorías, planteamientos, muchas veces desligados de su contexto real. Estas razones influyeron para que el 29 de enero de 2010 se publicara el Decreto N° 5834 en la Gaceta Oficial N° 359.203, que establece la conformación de una Comisión Presidencial de carácter temporal que sería encargada de la determinación de la “verdadera causa” de la muerte de Libertador Simón Bolívar.

El 16 de Julio de 2010 los restos del Libertador fueron exhumados y se tenía como objetivo realizar un estudio anatómico forense; en la exhumación de los restos del Libertador Simón Bolívar participaron la Unidad Criminalística de la Fiscalía, el IVIC (Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas) y el IDEA (Instituto de Estudios Avanzados).

En julio de 2012 la Comisión Presidencial para la Planificación y Activación del Proceso de Investigación Científica e Histórica, sobre los Acontecimientos Relacionados con el Fallecimiento de El Libertador Simón Bolívar y el traslado a la Nación de sus restos mortales (2012), publica en <http://simonbolivar.gob.ve/causas>, las conclusiones de Anatomía Patológica Forense en el estudio de los restos del Libertador Simón Bolívar que fue elaborado por la Dra. Yanuacelis Cruz, jefa de la División de Anatomía Patológica Forense de la Coordinación Nacional de Ciencias Forenses y el Dr. José Monque, médico anatomopatólogo, ex coordinador de Ciencias Forenses. Ambos señalan la presencia en el interior del sarcófago de un cadáver que se encontraba en buen estado de conservación, que presentaba restos blanquecinos de cloruro de cal y de barniz solidificado color neutro, con la ausencia de algunos huesos en las manos y en los pies que correspondían a las falanges, y se apreciaba una reconstrucción realizada con cera de moldear, con la unión de las diferentes estructuras que conformaban el esqueleto con alambres, resortes, bisagras y una vara de plomo, que articulaba la base del cráneo con todas las vértebras a través del agujero occipital y los agujeros vertebrales hasta el sacro coxis.

En el esqueleto del cráneo y de la cara, se evidenció un corte de sierra horizontal limpio y preciso sobre la bóveda craneana, con una escasa pérdida de tejido óseo, y la calota craneal articulada con el resto del cráneo por medio de cuatro pequeñas bisagras de bronce de color verde amarillento localizadas, dos en las regiones parieto temporales y dos en las regiones parieto occipitales. El maxilar inferior se encontraba desarticulado y fijado a los huesos del maxilar superior y a los parieto temporales derecho e izquierdo por intermedio de resortes e hilos de bronce; las piezas dentales estaban completas, con excepción de la ausencia de un molar izquierdo.

Se comprobó pérdida del tejido óseo por socavamiento postmortem de las paredes laterales y del piso de ambas órbitas, pérdida total postmortem del cóndilo del maxilar inferior izquierdo y parcial del derecho.

Se extrajo un total de seis piezas dentales que correspondieron a los incisivos centrales superior izquierdo, incisivo lateral izquierdo, canino superior izquierdo, primer premolar superior izquierdo, incisivos centrales superior derecho, incisivo lateral derecho y canino superior derecho y se obtuvo material de la pulpa dental para identificar ADN.

Las vértebras cervicales, dorsales y sacras estaban completas con cambios degenerativos propios de la edad, con la presencia en la cuarta y quinta vértebra dorsal, de un pequeño socavamiento en el área correspondiente a las carillas articulares, lugar del cual se tomaron muestras para estudio histológico de reacción en cadena de la polimerasa con el objetivo de identificar ADN de diferentes microorganismos; las tres últimas vértebras lumbares presentaron signos de esclerosis, posiblemente como se sugiere en el informe (2012), resultado de un traumatismo crónico ocasionado por montar a caballo .

La parrilla costal estaba completa, parcialmente articulada de forma artificial por alambres y resortes, con fracturas postmortem resultados de la autopsia. El esternón estaba presente; el cuerpo y manubrio articulados con alambres y bisagras, la clavícula sin evidencia de lesiones, escápula sin lesiones traumáticas que describir.

En la pelvis se evidenció asimetría entre los dos huesos costales, con una fractura post mortem del borde superior de los mismos, con una erosión del hueso coxal izquierdo, y en su cara anterior una acentuada erosión; se toman muestras para estudio histológico y de reacción en cadena de la polimerasa con la finalidad de detectar ADN de agentes infecciosos. Los miembros superiores estaban articulados con alambres y bisagras de metal, y se detectó una discreta asimetría, debido a que el hueso humeral derecho estaba más desarrollado que el izquierdo; los huesos de la mano estaban parcialmente desarticulados y ausentes, con algunas falanges reconstruidas con cera de moldear.

Las extremidades inferiores (fémur, tibia y peroné) se encontraban articuladas con alambres y bisagras de metal, y se tomaron dos cuñas de tejido óseo de la cabeza humeral y una cuña de la cabeza de la falange de la mano izquierda para realizar estudios de ADN, y los sitios que sirvieron de aporte a las muestras se reconstruyeron con un material fotocurable de uso odontológico.

El estudio microscópico reportó la presencia de tejido óseo conservado con escasas travesuras laminares y tejido fibroso conectivo, también se realizaron coloraciones especiales para la determinación de bacilos ácido alcohol resistentes y hongos, los cuales fueron negativos.

En la correlación clínico-patológica (epicrisis) que aparece en el informe de la Comisión Presidencial para la Planificación y Activación del Proceso de Investigación Científica e Histórica, sobre los Acontecimientos Relacionados con el Fallecimiento de El Libertador Simón Bolívar y el traslado a la Nación de sus restos mortales se considera que el polvo de cantárida sería responsable de insuficiencia renal, desencadenante final de la muerte de Simón Bolívar; sin embargo, es importante enfatizar que no se puede plantear como una afirmación incontrovertible, debido a que sería simplemente una hipótesis a demostrar, y en pacientes quienes padecen de necrosis tubular aguda como consecuencia de los efectos de un medicamento, con biopsias renales recientes y cambios anatomopatológicos en la microscopía óptica y electrónica, es difícil atribuir esos cambios a un medicamento o a una sustancia en particular, y considerar a la cantárida como desencadenante final de la muerte de “El Libertador” es difícil de demostrar, y debió ser considerado simplemente como una hipótesis de trabajo.

En la exhumación que se realizó al Libertador Simón Bolívar se tomaron muestras de tejido óseo para determinación de ADN de *Mycobacterium tuberculosis* por la técnica de reacción en cadena de la polimerasa que se aplica para establecer un diagnóstico etiológico, que es importante para aislar a un microorganismo específico cuando no está clara la causa u origen de una determinada infección.

Las técnicas de la reacción de la cadena de la polimerasa utilizada en la detección del *Mycobacterium tuberculosis* en muestra de biopsias, tiene una sensibilidad muy elevada y es posible detectar cantidades muy pequeñas de ADN.

En el diagnóstico de las posibles causas de muerte en cadáveres con cierto tiempo de fallecidos, es fundamental la recuperación de ADN antiguo, no exclusivamente para la determinación de posibles vínculos familiares sino también para identificar la presencia de microorganismos que pudiesen estar vinculados a una determinada enfermedad como sería la tuberculosis.

En la actualidad adquiere un gran auge la disciplina que se conoce como la Paleopatología que incluye el estudio de restos humanos con muchos años de fallecidos, y uno de los procedimientos que utiliza esta ciencia, es la recuperación de ADN de restos antiguos para determinar la presencia de enfermedades específicas como sucedió con el Libertador, y es posible evidenciar la presencia de cualquier enfermedad que deje su huella genética como infecciones virales o bacterianas.

Existen antecedentes de detección de *Mycobacterium tuberculosis* en cadáveres cuya edad calculada supera los mil años. Salo *et al.* (1994) publicaron los resultados de una investigación titulada “Identification of *Mycobacterium tuberculosis* DNA in a pre - Columbian Peruvian mummy”, y en este estudio se reporta el examen de un nódulo hiliar derecho de un cuerpo momificado de sexo femenino, con extracción de ADN que fue sometido a la reacción en cadena de la polimerasa para detectar ADN de *Mycobacterium tuberculosis*.

Mays (2001) detectaría ADN de *Mycobacterium tuberculosis* en nueve esqueletos medievales de un yacimiento inglés, con evidencias de un cuadro patológico compatible con infección por *Mycobacterium tuberculosis*.

Es importante enfatizar que se realizó en tejido óseo de la osamenta del Libertador, la determinación mediante biología molecular de ADN de agentes patógenos que incluyeron: *Mycobacterium tuberculosis*, *Mycobacterium bovis*, *Treponemapallidum*, *Brucella* ssp., *Paracoccidioides brasiliensis* y *Plasmodium* sp., *Leishmania donovani* y cutánea, siendo negativos los resultados mediante técnica de determinación de ADN para estos organismos.

El Dr. Howard Takiff (2012) Jefe del Laboratorio de Genética Molecular del IVIC, al referirse a las experticias realizadas en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), destaca que el trabajo fue realizado por los científicos Gerson Caraballo y Mary Acosta, y consistió en aislar ADN de una muestra de hueso. Se utilizó la técnica de reacción de la cadena de la polimerasa para investigar ADN de *Mycobacterium tuberculosis*, agente causante de la tuberculosis; sin embargo, no se evidenció la presencia de ADN.

El Dr. Howard Takiff (2012) recomendó a la Comisión Presidencial la experticia de las muestras por el Dr. George Michael Taylor de la Universidad de Surrey, Guildford, Reino Unido quien no encontró evidencia de *Mycobacterium tuberculosis*, *Paracoccidioides brasiliensis* y *Plasmodium*.

El Dr. Howard Takiff (2012) en el informe de la Comisión Presidencial para la Planificación y Activación del Proceso de Investigación Científica e Histórica, sobre los Acontecimientos Relacionados con el Fallecimiento de El Libertador Simón Bolívar y el traslado a la Nación de sus restos mortales, considera que la ausencia de evidencia no es un criterio 100% fidedigno de que la causa de la muerte no haya sido la tuberculosis, pero son los mejores resultados obtenidos, debido a que implica la utilización de técnicas avanzadas de biología molecular .

El doctor G.M Taylor (2012) de la Universidad de Surrey como lo señala el informe de la Comisión Presidencial, también tendría la responsabilidad de evaluar las muestras recolectadas en julio del año 2010, con la finalidad de detectar ADN antiguo que sería indicativo de la infección con bacterias del complejo *Mycobacterium tuberculosis*; sin embargo, no encontró evidencia de la presencia de ADN de la micobacteria.

En el informe de GM Taylor (2012) de la División de Ciencia Microbiales de la Universidad de Surrey, se considera que se puede argumentar que los fragmentos tomados del húmero y el hueso iliaco no son los más apropiados para proveer una evidencia de tuberculosis pulmonar, y constituiría una posible explicación para los hallazgos negativos .

Salo *et al.* (1994) lograron identificar *Mycobacterium tuberculosis* en momias peruanas a pesar de la antigüedad de los cuerpos momificados que se calculaba en mil años o más; sin embargo, las muestras para la determinación del ADN mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) fueron tomadas del parénquima pulmonar y de los nódulos del hilio pulmonar, y como enfatizan Salo *et al.* (1994), la posibilidad de certeza diagnóstica se vinculó con la existencia de posibles lesiones en el lóbulo superior derecho del pulmón que eran compatibles con tuberculosis y la presencia de lesiones nodulares en los hilios pulmonares.

En los restos del Libertador Simón Bolívar sólo fue posible tomar una muestra de tejidos óseos de un pequeño socavamiento en el área correspondiente a las carillas articulares entre la cuarta y quinta vértebra dorsal, de la pelvis y del húmero, debido a que no se disponía de tejido pulmonar, y es una de las razones para que GM Taylor (2012) de la División de Ciencias Microbiales de la Universidad de Surrey, considerase que los fragmentos tomados del húmero y del hueso iliaco no eran los más apropiados para proveer una evidencia de tuberculosis pulmonar.

En virtud de lo anteriormente señalado, los estudios realizados mediante técnicas de biología molecular, implican un gran avance en la posibilidad de utilizar la ciencia no sólo para establecer la certeza de vínculos familiares como ocurrió con el estudio y la correlación del ADN de Libertador Simón Bolívar y su hermana María Antonia, sino para la identificación de posibles agentes etiológicos.

La determinación del ADN proveniente de tejido óseo de los restos de Libertador Simón Bolívar de: *Mycobacterium tuberculosis*, *Mycobacterium bovis*, *Treponema pallidum*, *Brucellas sp.*, *Paracoccidioides brasiliensis*, *Plasmodium sp.*, *Leishmania donovani* cutánea, permitieron utilizar los avances de la ciencia en la investigación del agente etiológico responsable de la muerte del Libertador; sin embargo, la ausencia de parénquima pulmonar en los restos del Libertador Simón Bolívar, que sería un tejido ideal para detectar ADN de *Mycobacterium tuberculosis* como revelan los estudios de Salo *et al.* (1994), sería una de las limitantes para la posibilidad de establecer un diagnóstico definitivo acerca de la causa de la muerte del Libertador Simón Bolívar.

En el informe de la Comisión Presidencial para la Planificación y Activación del Proceso de Investigación Científica e Histórica, sobre los Acontecimientos Relacionados con el Fallecimiento del Libertador Simón Bolívar y el traslado a la Nación de sus restos mortales, señala que los análisis químicos practicados para la determinación de arsénico (As) no fueron concluyentes, que era una de las justificaciones para realizar la exhumación y descartar un probable envenenamiento.

En medicina son múltiples los factores que pueden estar implicados en la evolución tórpida de una enfermedad que incluyen factores nutricionales, predisposición a alguna enfermedad en particular, estado inmunológico, y la utilización de los avances de la ciencia permite solventar dudas, no obstante, es posible que surjan otras, que no deben ser motivo de disyuntivas, sino que es el resultado del dinamismo de la ciencia médica que no es una disciplina estática y rígida, sino por el contrario es cambiante y evoluciona en el tiempo.

## CONCLUSIONES

El análisis del ADN no evidenció la presencia de *Mycobacterium tuberculosis*; el informe de GM Taylor de la División de Ciencia Microbiales de la Universidad de Surrey enfatiza que no se puede excluir la tuberculosis como causa de muerte aunque parece ahora una causa menos probable, debido a que los fragmentos tomados del húmero y el hueso iliaco no eran los más apropiados para proveer una evidencia de tuberculosis pulmonar. El tejido ideal para determinar la presencia de ADN de *Mycobacterium tuberculosis* sería el parénquima pulmonar como lo señala el estudio de Salo *et al.* (1994); sin

embargo, sólo se tuvo disponibilidad de las muestras de tejido óseo para su evaluación y estudio.

El estudio médico forense realizado permitió comprobar que el cráneo del Libertador se correspondía con las características y los procedimientos realizados durante la autopsia por Alejandro Próspero Reverend.

Existe una correspondencia genética entre los restos del Libertador y los de su hermana María Antonia.

Ausencia de evidencia científica de una posible intoxicación con arsénico.

En la correlación clínico-patológica (epicrisis) que aparece en el informe de la Comisión Presidencial para la Planificación y Activación del Proceso de Investigación Científica e Histórica, sobre los Acontecimientos Relacionados con el Fallecimiento de El Libertador Simón Bolívar y el traslado a la Nación de sus restos mortales se considera que el polvo de cantárida sería responsable de insuficiencia renal, desencadenante final de la muerte de Simón Bolívar; sin embargo, considerar a esta sustancia como la causa de muerte del Libertador sería una simple hipótesis de trabajo debido a que se necesitan estudios de histopatología renal, además, de las respectivas pruebas de laboratorio para evidenciar los efectos de algún medicamento o sustancia tóxica en el riñón.

Es importante enfatizar que se conocía previamente las limitaciones para lograr un posible diagnóstico acerca de la posible causa de muerte del Libertador Simón Bolívar, al no disponer de parénquima pulmonar y de tejidos provenientes de otros órganos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argente H., Álvarez M. (2006). *Semiología Médica*. 1a edición. México: Editorial Médica Panamericana, pp.543-544.

Baldó J. (1974). Discusión clínica sobre la última enfermedad del Libertador. *Tórax*, 3: 54 - 66.

Bolívar S. (1992). *Fundamental I*. Caracas: Monte Ávila Editores, pp.628-633.

Comisión Presidencial para la Planificación y Activación del Proceso de Investigación Científica e Histórica, sobre los Acontecimientos Relacionados con el Fallecimiento del Libertador Simón Bolívar y el traslado a la Nación de sus restos mortales. (2012). Informe preliminar sobre las investigaciones de las causas de la muerte del

Libertador Simón Bolívar". Disponible en: <http://simonbolivar.gob.ve/causas>,

- García J., Palacios J. (2010). Tuberculosis pulmonar: etiología, patogenia, epidemiología, clínica y diagnóstico. En: J. Álvarez-Sala Walthier, P. Casan Clará, F. Rodríguez de Castro, J. Rodríguez Hermosa, V. Villena Garrido (Eds). *Neumología clínica*. Barcelona: Editorial Elsevier, pp.322-330.
- Litter M. (1961) *Farmacología*. 2a ed. Buenos aires: El Ateneo, pp.1079-1081.
- Mays S., Taylor G., Legge A, Young D., Turner-Walker G. (2001). Paleopathological and biomolecular study of tuberculosis in a medieval skeletal collection from England. *Am. J. Phys. Anthropol*, 114(4): 298-311.
- Reverend P. (1978) Diario sobre la enfermedad que padece el Libertador, sus progresos o disminución y método curativo seguido por el médico de cabecera Dr. Alejandro Próspero Reverend. En: I. Leal (compilador). *Ha muerto el Libertador*. Caracas: Ediciones del Rectorado de la UCV, pp. 67-78.
- Salo W., Aufderheide A., Buikstra J., Holcomb, T. (1994). Identification of *Mycobacterium tuberculosis* DNA in a pre-Columbian Peruvian mummy. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 91(6): 2091-4.
- Torres A. (2008) Simón Bolívar, su muerte, los médicos. *Archivos Bolivianos de Historia de la Medicina*, 8 (2): 64-71.
- Zamora R. (1997). Diagnóstico diferencial de la enfermedad final del Libertador, considerando los conocimientos de la micología médica. *Revista de la Sociedad Venezolana de Historia de la Medicina*, 46(72): 91-97.