

Vertimientos de Material Radiactivo provenientes de prácticas médicas.

Emeterio Cruz Salazar

- Contexto general y normativa Colombiana
 - Estudios de Impacto Radiológico
 - Tecnología desarrollada para la gestión de los residuos radiactivos líquidos



Bogotá - Septiembre 21 de 2015.



Sensor



Arduino UNO



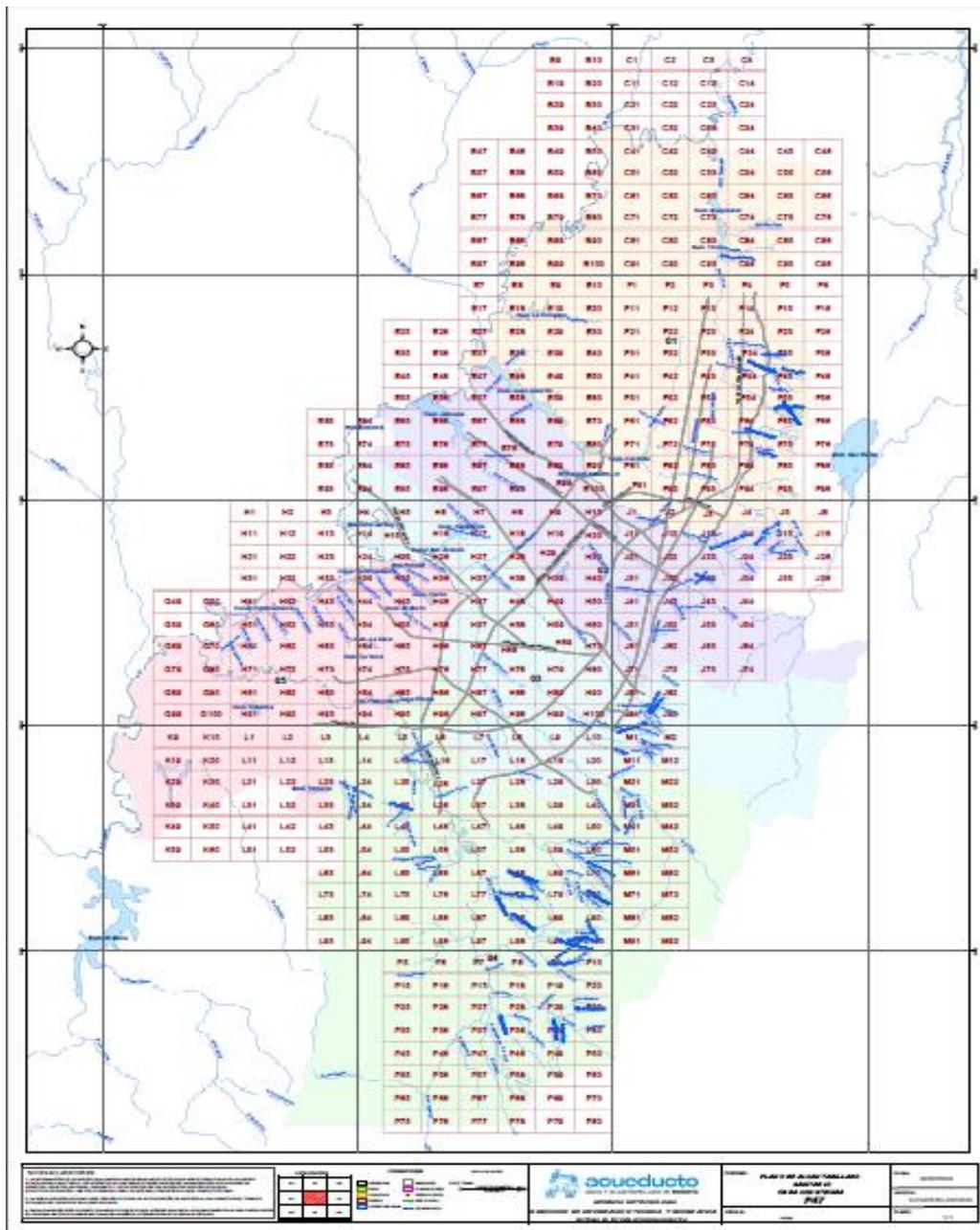
Tarjeta Ethernet



Micro SD



Bogotá -Septiembre 21 de 2015.



Bogotá - Septiembre 21 de 2015.

Resolución 181434.

ARTÍCULO 19. De las Exposiciones. Este Reglamento se aplica a toda exposición ocupacional, exposición médica o exposición del público debida a cualquier práctica considerada o a cualquier fuente adscrita a la práctica, incluidas tanto las exposiciones normales como las exposiciones potenciales.

- **Análisis:** Los vertimientos de material radiactivo pueden generar exposición ocupacional, exposición del público y exposiciones potenciales, en las cajillas de internas que conectan con el alcatarillado público o cuando el vertido toma las redes públicas de alcatarillado.

Resolución 181434

ARTÍCULO 27. Principios Generales. Los principios generales de exención del control regulatorio de una práctica o una fuente adscrita a una práctica son los siguientes:

1. Que los riesgos radiológicos para los individuos, causados por la práctica o la fuente declaradas exentas, sean tan bajos que carezca de objeto su reglamentación;
2. Que el impacto radiológico colectivo de la práctica o la fuente declaradas exentas sea tan bajo que, en las circunstancias existentes, no sea preciso su control reglamentario;
3. Que las prácticas y las fuentes declaradas exentas sean intrínsecamente seguras, sin ninguna probabilidad apreciable de escenarios que pudieran conducir a un incumplimiento de los principios enunciados en los incisos anteriores.
 - **Análisis:** En este artículo se presenta el requerimiento de cuantificar los riesgos radiológicos e indentificar poblaciones críticas, para determinar si la práctica se puede declarar exenta. Para esto el estudio permite cuantificar si los vertimientos generan riesgo potencial de dosis que supere $10\mu Sv/año$.

Resolución 181434

ARTÍCULO 28. Exención. Una práctica o una fuente adscrita a una práctica podrá declararse exenta, sin ulterior estudio, siempre que se satisfagan, para todas las situaciones posibles, los siguientes criterios:

1. La dosis efectiva que se prevea sufrirá cualquier miembro del público a causa de la práctica o la fuente exentas sea del orden de $10 \mu Sv$ o menos en un año, o
 2. La dosis efectiva colectiva comprometida resultante de un año de realización de la práctica no sea superior a $1 Sv.hombre$, aproximadamente, o bien una evaluación de la optimización de la protección demuestre que la exención es la opción óptima.
- **Análisis:** Este artículo permite la exención de una descarga de material radiactivo siempre y cuando las dosis a la población crítica se encuentre dentro de las restricciones que se dan en los numerales 1 y 2.

Resolución 181434

ARTÍCULO 150. Optimización de las Medidas de Control de Vertido de Sustancias Radiactivas.

Los titulares de registro y los titulares de licencia deberán asumir la responsabilidad de *velar porque el proceso de optimización de las medidas de control de vertido* de sustancias radiactivas de una fuente al medio ambiente se someta a las restricciones de dosis establecidas o aprobadas por la Autoridad Reguladora, teniendo en cuenta, según proceda:

1. Los aportes a la dosis provenientes de otras fuentes y prácticas, incluidas posibles fuentes y prácticas futuras evaluadas de manera realista;
2. Las variaciones potenciales de cualquier circunstancia que pudieran influir en modo de funcionamiento de la fuente, variaciones de las características y el modo de funcionamiento de la fuente, variaciones en cuanto a las vías de exposición, variaciones en los hábitos o la distribución de la población, modificación de los grupos críticos, o variaciones de las condiciones de dispersión en el medio ambiente;

Resolución 181434

3. Los procedimientos prácticos satisfactorios existentes para la utilización de fuentes o prácticas similares;
4. Toda incertidumbre en la evaluación de las exposiciones, especialmente en cuanto a los aportes potenciales a dichas exposiciones si la fuente y el grupo crítico están separados en el espacio o en el tiempo.
 - **Análisis:** En este artículo se pone de manifiesto que el estudio de Impacto radiológico no solo debe considerar las variables internas y su dinámica, debe hacerse un estudio prospectivo tanto interno como externo, así como tener en cuenta el aporte de otras fuentes, que en este caso pueden ser vertidos de otras instituciones.

Resolución 181434

ARTÍCULO 156. Excepciones. Los titulares de autorizaciones garantizarán que no se viertan al medio ambiente sustancias radiactivas resultantes de las prácticas y fuentes autorizadas, salvo que:

1. El vertido satisfaga los límites establecidos al respecto por la Autoridad Reguladora, o su delegada, en la autorización correspondiente;
2. Los vertidos sean controlados;
3. Las exposiciones del público comprometidas a causa de los vertidos se limiten conforme a lo especificado en el Anexo 2;
4. El control de los vertidos se optimice conforme a lo establecido en la “Parte General” del presente Reglamento.
 - Análisis: Una vez los estudios de Impacto radiológico muestran los riesgos potenciales a poblaciones críticas, orientarán la acciones requeridas en los num,erales 2, 3 y 4.

Resolución 181434

ARTÍCULO 157. Obligaciones Previas. Los titulares de autorizaciones, antes de comenzar a verter al medio ambiente cualquier sustancia radiactiva sólida, líquida o gaseosa procedente de las fuentes adscritas a las prácticas de las que son responsables, están en la obligación de:

1. Determinar las características y la actividad de la sustancia a verter, así como los puntos y métodos potenciales de vertido;
2. Determinar por medio de un estudio pre-operacional adecuado, todas las vías de exposición significativas por las que los radionucleidos vertidos puedan causar exposición del público;
3. Evaluar las dosis a los grupos críticos debidas a los vertidos planeados;
4. Como parte de la documentación a presentar para la obtención de la autorización correspondiente, presentar esta información a la Autoridad Reguladora, o su delegada, con el fin de establecer los límites y condiciones de vertido.
 - **Análisis:** Este artículo presenta el requerimiento de un estudio de Impacto Radiológico para el licenciamiento de una práctica en la la que se prevé se verterá material radiactivo. Se debe caracterizar el vertido e identificar las poblaciones críticas y cuantificar la dosis potencial.

Resolución 181434

ARTÍCULO 158. Obligaciones durante las Fases de Funcionamiento. Los titulares de registro y los titulares de licencia deberán, durante las fases de funcionamiento de las fuentes sometidas a su responsabilidad:

1. Reducir todos los vertidos radiactivos al valor más bajo, inferior a los límites de vertido autorizados, que pueda razonablemente alcanzarse;
2. Realizar la vigilancia radiológica de los vertidos de radionucleidos con detalle y exactitud suficientes para demostrar la observancia de los límites de vertido autorizados y permitir la estimación de la exposición de los grupos críticos;
3. Registrar los resultados de la vigilancia radiológica y las exposiciones estimuladas;
4. Informar de los resultados de la vigilancia radiológica a la Autoridad Reguladora, o su delegada, a intervalos aprobados, reflejados en la licencia;
5. Informar rápidamente a la Autoridad Reguladora, o su delegada, de cualquier vertido que sobrepase a los límites de vertido autorizado, de conformidad con los criterios establecidos por ésta en materia de informes.
 - **Análisis:** En una práctica en la que se generen vertimientos de material radiactivo se debe velar por la reducción de estos, cuantificar las dosis a poblaciones críticas e informar si se excede en algún caso la actividad vertida.

Resolución 181434

ARTÍCULO 159. Ajuste de Medidas de Control. Los titulares de registro y los titulares de licencia deberán, según proceda y de acuerdo con la Autoridad Reguladora, o su delegada, examinar y ajustar, a la luz de la experiencia de funcionamiento, las medidas de control de vertidos aplicables a las fuentes sometidas a su responsabilidad, teniendo en cuenta toda variación de las vías de exposición y de la composición de los grupos críticos que pudiera influir en la evaluación de las dosis debidas a los vertidos.

- **Análisis:** Se deben establecer mecanismos de evaluación de los vertimientos que permitan actuar dentro de un proceso dinámico.

Resolución 180005

ARTÍCULO 32. Los titulares de las entidades generadoras adoptarán las medidas necesarias para mantener actualizado permanentemente un sistema de registro que permita el control en todas las etapas de la gestión de los desechos radiactivos. El sistema de registro debe tener la información relativa, entre otros, de los aspectos siguientes:

- a. Desechos radiactivos generados;
 - b. Desechos radiactivos almacenados;
 - c. Desechos desclasificados;
 - d. Descarga de líquidos y gases al medio ambiente; y
 - e. Desechos radiactivos transferidos a la instalación centralizada de gestión
- **Análisis:** Este artículo presenta el requerimiento de generar los registros de vertimientos de material radiactivo y para esto se debe desarrollar una metodología que permita este objetivo. Los estudios de Impacto Radiológico proveen los elementos para la generación de estos registros.

Resolución 180005

ARTÍCULO 36. Al finalizar cada año y antes del 1o de abril, los titulares de las instituciones generadoras y para la instalación centralizada de gestión deberán enviar a la autoridad reguladora una copia de su inventario de desechos y un informe relativo al año en cuestión, indicando los tipos, las cantidades y el destino de:

- a. los materiales dispensados emitidos al medio ambiente;
 - b. los desechos vertidos al medio ambiente;
 - c. las fuentes de radiación en desuso devueltas a los suministradores; y
 - d. demás detalles que exija la autoridad reguladora.
- **Análisis:** Este artículo es claro en la exigencia de un informe anual respecto de los desechos vertidos a medio ambiente. En este sentido, se requiere un método que permita cuantificar las actividades vertidas.

Resolución 180005

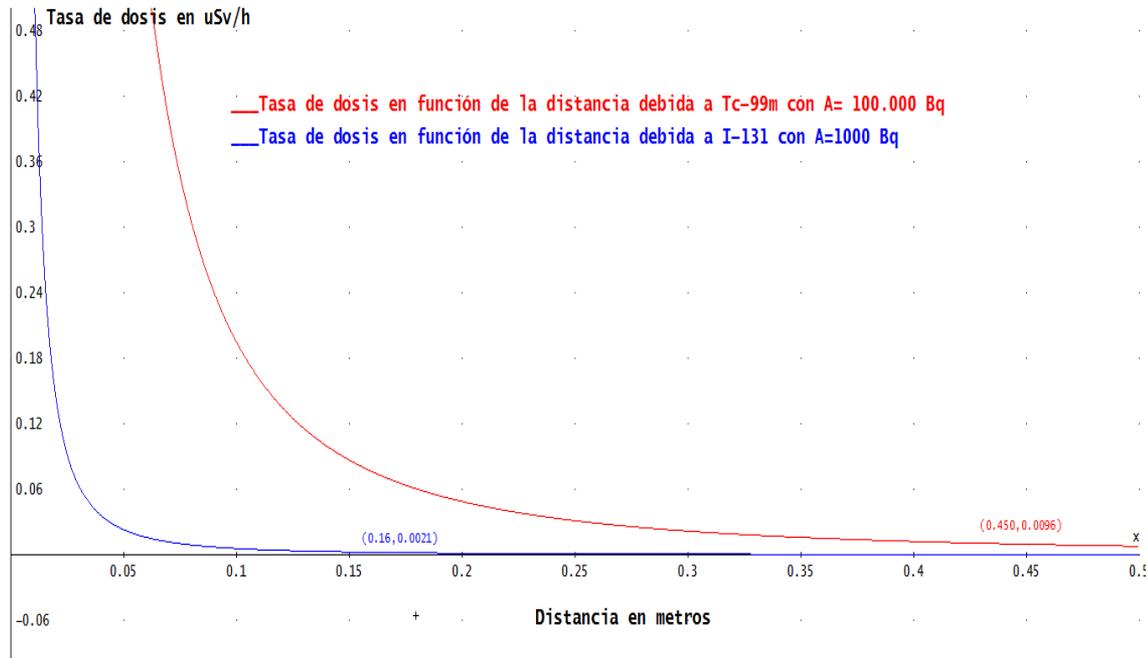
ARTÍCULO 38. Si se han emitido materiales radiactivos al medio ambiente rebasando los criterios de dispensa indicados en el Apéndice I, o si se han vertido desechos rebasando los límites de una autorización extendida por la autoridad reguladora, el titular de la licencia deberá comunicarlo en un plazo máximo de 72 horas a la autoridad reguladora.

- Análisis: Este artículo hace referencia en el caso del $I - 131$ a $10^3 Bq/día$, $10^4 Bq/mes$ y $10^5 Bq/año$. Y en el caso del $Tc - 99m$, $10^5 Bq/día$, $10^6 Bq/mes$ y $10^7 Bq/año$. Este presenta la opción de poder acceder a una autorización extendida que en éste trabajo se sugiere que se base en la resticción de dosis de $10 \mu Sv/año$. Teniendo en cuenta el cuadro 2 del Apéndice I, se puede hacer el siguiente cálculo: una dosis de $15 mCi$ equivale a $555 * 10^6 Bq$, si un paciente excreta a través de la orina durante su permanencia en la insitución el 20% de la actividad administrada, ya sea $I - 131$ o $Tc - 99m$, estaría reabasando los criterios de dispensa. Por tanto debe informar dentro de 72 horas a la entidad reguladora.

CUADRO 2. TASAS DE VERTIDO EN FORMA LÍQUIDA A ALCANTARILLAS, RÍOS Y OTRAS GRANDES MASAS DE AGUA

Radionucleidos	Tasa de emisión anual (Bq/año)	Tasa de emisión mensual (Bq/mes)	Tasa de emisión diaria (Bq/día)
Sr-89	10^6	10^5	10^4
Y-90	10^7	10^6	10^5
Mo-99	10^5	10^4	10^3
Tc-99	10^7	10^6	10^5
Tc-99m	10^6	10^5	10^4
In-111	10^5	10^4	10^3
I-123	10^6	10^5	10^4
I-125	10^5	10^4	10^3
I-131	10^5	10^4	10^3
Pm-146	10^7	10^6	10^5
Er-169	10^7	10^6	10^5
Au-198	10^5	10^4	10^3

Resolución 180005



Resolución 180005

ARTÍCULO 42. El titular de las entidades generadoras o de la instalación centralizada de gestión deberá solicitar una autorización para la liberación de materiales radiactivos. Dicha solicitud deberá describir los procedimientos administrativos y de protección radiológica que se aplican para garantizar que los materiales que se pretenden liberar cumplen con los niveles de dispensa establecidos.

El contenido de la información que debe aportar el titular será definido por la autoridad reguladora e incluirá al menos: fundamentación de la propuesta, procedimientos de descargas, vías que se emplearán para la liberación, evaluación radiológica, descripción radiológica, física, físico-química y biológica de los desechos objeto de liberación.

ARTÍCULO 43. Las liberaciones al medio ambiente, como forma de gestión de los desechos, de materiales con valores de actividad superiores a los establecidos en los niveles de dispensa (Apéndice I) sólo podrán realizarse con una autorización expresa otorgada de por la autoridad reguladora. En tal caso se deberá solicitar una autorización de descarga condicional de materiales radiactivos.

Resolución 180005

ARTÍCULO 44. El contenido de la información que debe aportar el titular de la solicitud de autorización de descarga condicional de material radiactivo será definido por la autoridad reguladora. Esta información incluirá, al menos: origen y características de los desechos, procedimientos operativos y protección radiológica que se aplican, vías de descargas, evaluación radiológica, propuesta de desclasificación condicional.

ARTÍCULO 45. Tanto si las liberaciones radiactivas se efectúan con sujeción a los niveles de dispensa indicados en el Apéndice I como si los desechos radiactivos se vierten con autorización, se deberán tener en cuenta los riesgos no radiológicos correspondientes y se deberán cumplir los requisitos estipulados en cualquier otro reglamento relativo a esas propiedades.

Fundamentación de la Normativa Colombiana

Annex 3

Table A3.2 *Liquid discharge rates to sewers, rivers, or other large water bodies*

Radionuclide	Annual release rate (Bq/year)	Monthly release rate (Bq/month)	Daily release rate (Bq/day)
H-3	10^9	10^8	10^7
C-14	10^7	10^6	10^5
Na-22	10^2	10	1
Na-24	10^5	10^4	10^3
P-32	10^3	10^2	10
S-35	10^6	10^5	10^4
Cl-36	10^7	10^6	10^5
Ca-45	10^7	10^6	10^5
Ca-47	10^5	10^4	10^3
Fe-59	10^3	10^2	10
Co-57	10^6	10^5	10^4
Co-58	10^5	10^4	10^3
Ga-67	10^5	10^4	10^3
Sr-85	10^3	10^2	10^3
Sr-89	10^6	10^5	10^4
Y-90	10^7	10^6	10^5
Mo-99	10^5	10^4	10^3
Tc-99	10^7	10^6	10^5
Tc-99m	10^6	10^5	10^4

Safe management of wastes from health-care activities

- these models did not consider the transfer of radionuclides to terrestrial foodchains as a result of irrigation or use of sewage sludge in agriculture.

Note 3: Activity from patients' discharges, after diagnostic or therapeutic use of radionuclides, should also be considered. This may be achieved by comparing discharges with the clearance levels.

Note 4: For other radionuclides and higher levels of activity, any discharge made should be specifically authorized by the regulatory authority after assessment of all the relevant conditions.

Note 5: In reality, more than one radionuclide will often be involved. To determine whether a mixture of radionuclides is at or below the clearance level, a simple ratio expression can be used:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{Li}} \leq 1$$

¿En qué consiste un estudio de impacto radiológico?

Estudio que permite evaluar el riesgo potencial generado por los vertimientos de material radiactivo.



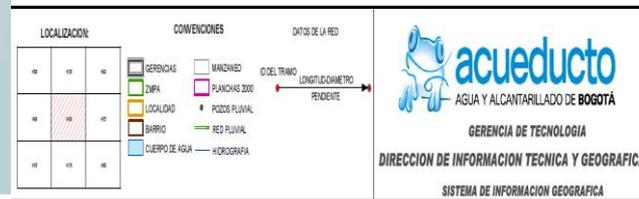
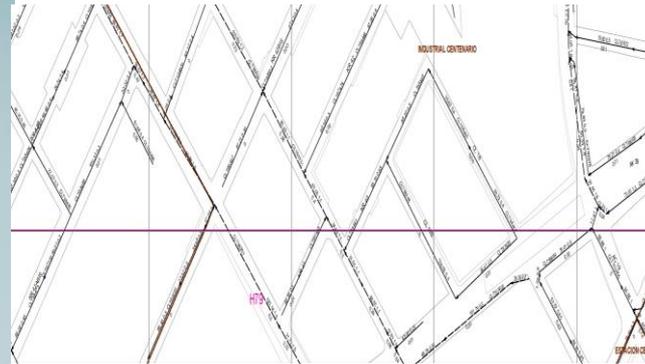
¿Qué es un estudio de impacto radiológico?

Es un estudio que permite cuantificar el riesgo potencial debido a los Vertimientos de material radiactivo de una práctica.

Este riesgo potencial se mide en términos de la Dosis potencial a poblaciones Críticas o contaminación del medio ambiente.

Los parámetros de comparación son los límites de vertido, niveles de exención y dispensa, para limitar la Dosis.

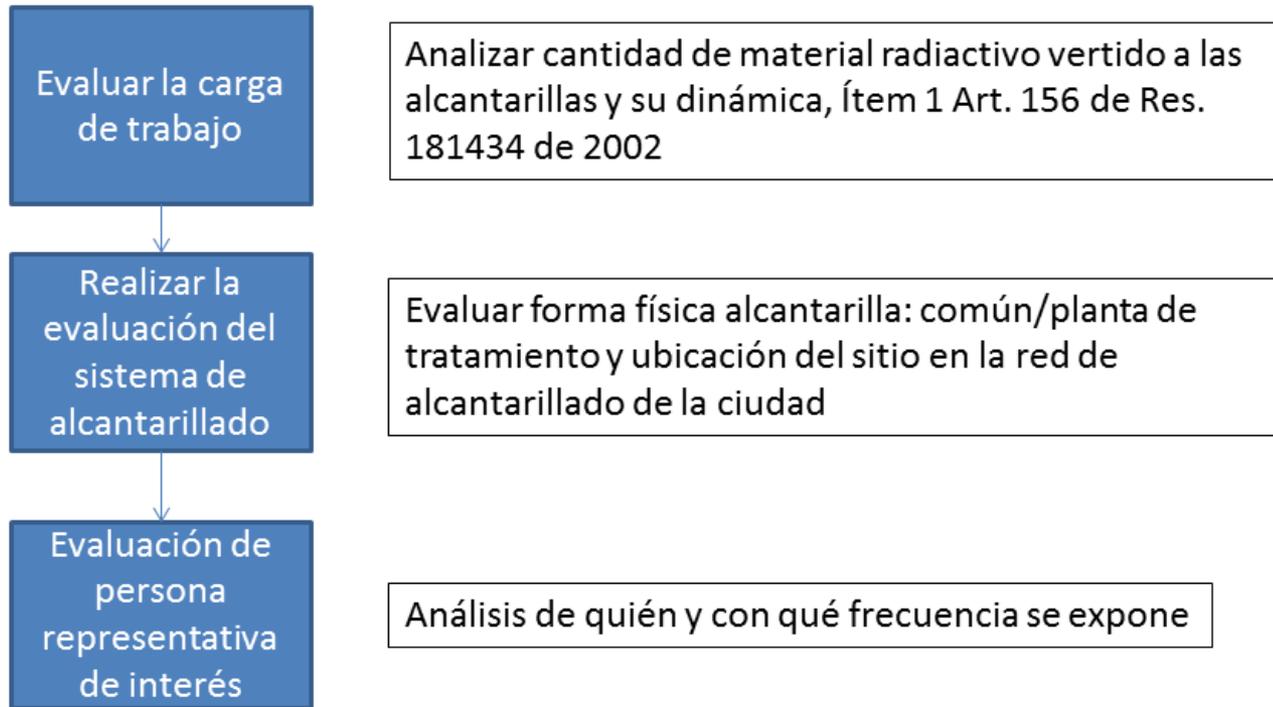
¿Cómo se hace un estudio de impacto radiológico?



VARIABLES INTERNAS

VARIABLES EXTERNAS

¿Cómo se hace un estudio de impacto radiológico?



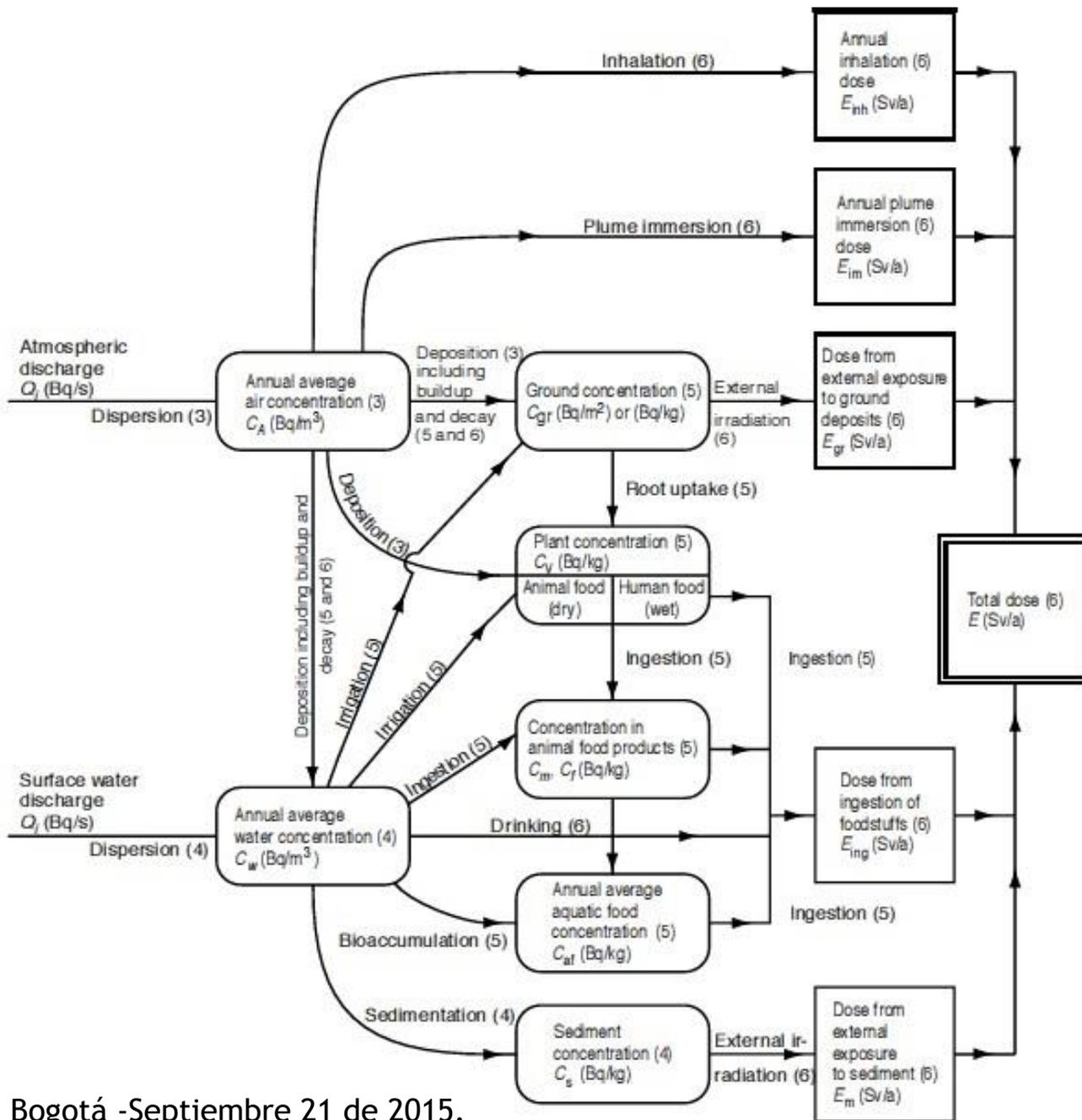
REGULATORY GUIDE 8.39. U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION

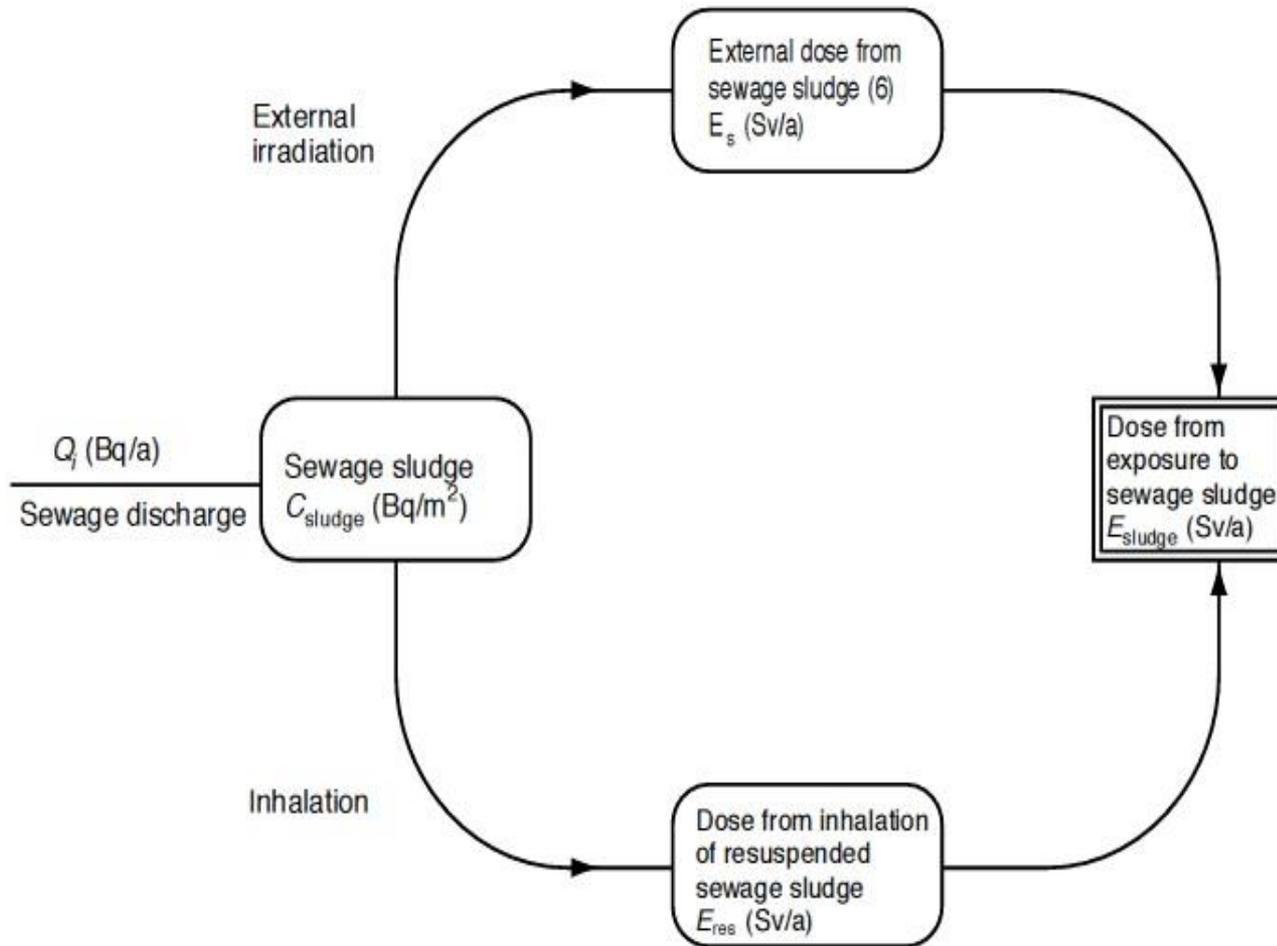
Condición médica	Componente extratiroidal		Componente tiroidea	
	Fracción de captación F_1	Tiempo de vida medio efectivo	Fracción de captación F_2	Tiempo de vida medio efectivo
Hipertiroidismo	0.2	0.32	0.80	5.2
Cancer de tiroides	0.95	0.32	0.05	7.3

$$A_1(t) = A_0 \left[\exp \left(-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_{ef1}} \right) \right]$$

$$A_2(t) = A_0 \left[F_1 \exp \left(-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_{ef1}} \right) + F_2 \exp \left(-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_{ef2}} \right) \right]$$

$$A_3(t) = A_0 \left[\exp \left(-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_{ef1}} \right) \right] - A_0 \left[F_1 \exp \left(-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_{ef1}} \right) + F_2 \exp \left(-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_{ef2}} \right) \right]$$



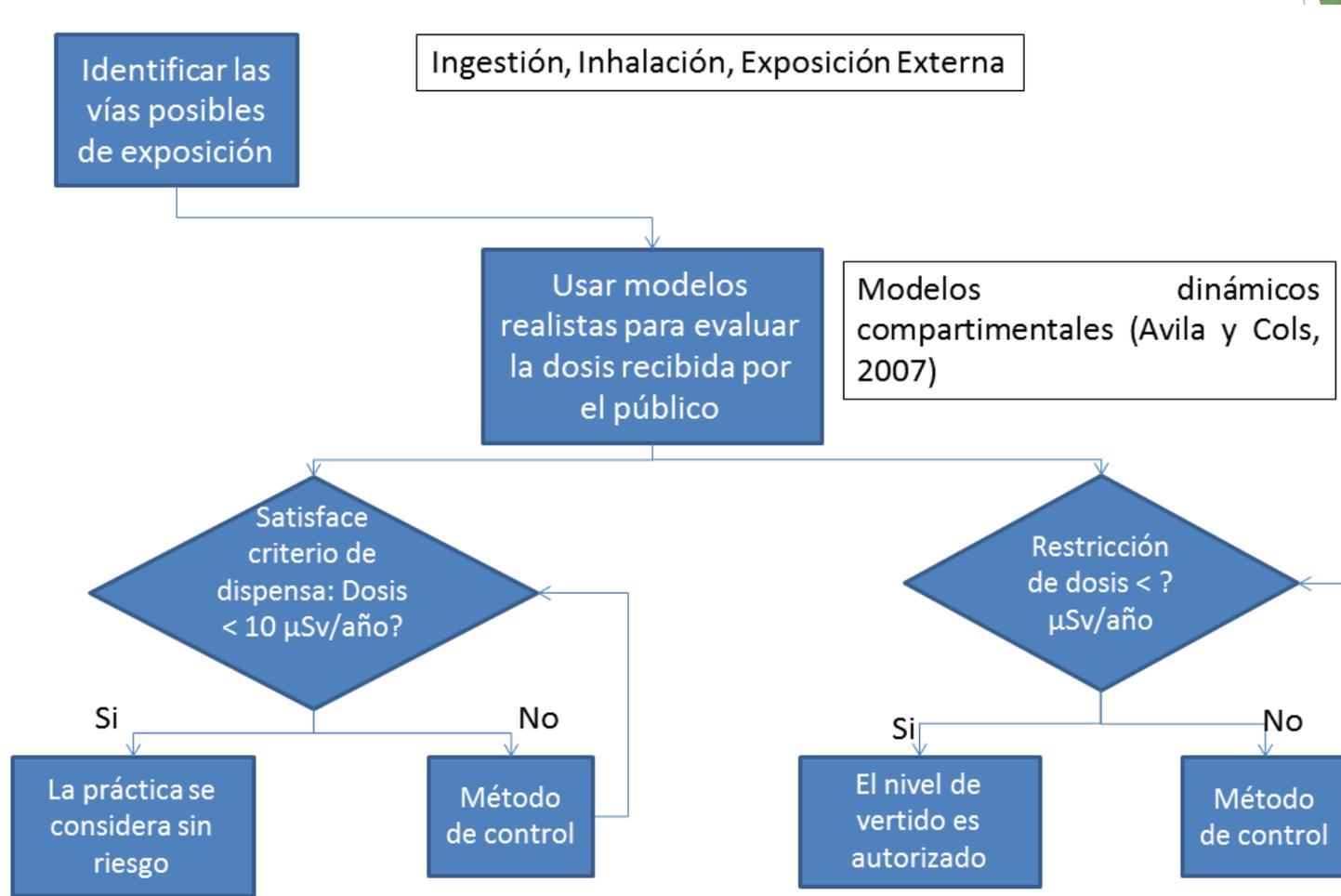




Bogotá -Septiembre 21 de 2015.

Radionucleido	Nivel de dispensa para cantidades moderadas (Bq/g)	Radionucleido	Nivel de dispensa para cantidades moderadas (Bq/g)
H-3	1×10^6	Sr-89	1×10^3
C-14	1×10^4	Y-90	1×10^3
Na-22	1×10^1	Mo-99	1×10^2
Na-24	1×10^1	Tc-99	1×10^4
P-32	1×10^3	Tc-99m	1×10^2
S-35	1×10^5	In-111	1×10^2
Cl-36	1×10^4	I-123	1×10^2
K-42	1×10^2	I-125	1×10^3
Ca-45	1×10^4	I-131	1×10^2
Ca-47	1×10^1	Pm-147	1×10^4
Cr-51	1×10^3	Er-169	1×10^4

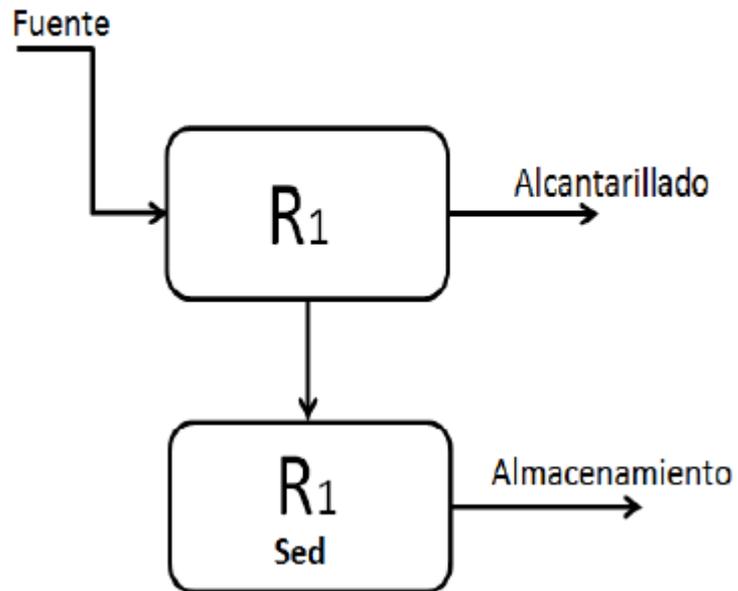
Importancia de usar modelos basados en datos reales





Un modelo para estudiar

Esquema del concepto para el caso real



INFORMACIÓN TIPO DE VERTIMIENTO

1. Residual doméstico Residual Industrial Municipal / ESP
 Caudal (l/s): _____ Tiempo de descarga (h/día): _____ Frecuencia (día/mes): _____
2. Fuente de abastecimiento: _____ Cuenca: _____
3. Nombre fuente Receptora: _____ Cuenca: _____
4. Sistema de Tratamiento: _____
 Sistema de aforo: _____
5. Localización de punto(s) de descarga: Coordenadas: X _____ Y _____ X _____ Y _____
 X _____ Y _____ X _____ Y _____

CARACTERIZACIÓN Y USOS DE LA FUENTE RECEPTORA

PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD
Sólidos suspendidos		mg/l
DBO5		mg/l
DQO		mg/l
Caudal		l/s

Nota: La autoridad ambiental establecerá parámetros de interés sanitario a monitorear dependiendo de la actividad Artículo 72 del Decreto 1594 de 1984

CARACTERIZACIÓN VERTIMIENTO

PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD
Sólidos suspendidos		mg/l
DBO5		mg/l
DQO		mg/l
Caudal		l/s

Nota: La autoridad ambiental establecerá parámetros de interés sanitario a monitorear dependiendo de la actividad Artículo 72 del Decreto 1594 de 1984

DOCUMENTACIÓN QUE DEBE ANEXAR A LA SOLICITUD

1. Documentos que acrediten la personería jurídica del solicitante
 Sociedades: Certificado de existencia y representación legal

Que se ha publicado recientemente?

- TecDoc 1714 IAEA, Julio 2013
- Existe una propuesta para almacenamiento de los residuos líquidos cuando se generan en cantidades menores y en sitios médicos que no cuentan con la infraestructura necesaria.

IAEA TECDOC SERIES



TECDOC No. 1714

Management of Discharge of
Low Level Liquid Radioactive
Waste Generated in Medical,
Educational, Research and
Industrial Facilities

Propuesta de método de control. Pág. 7

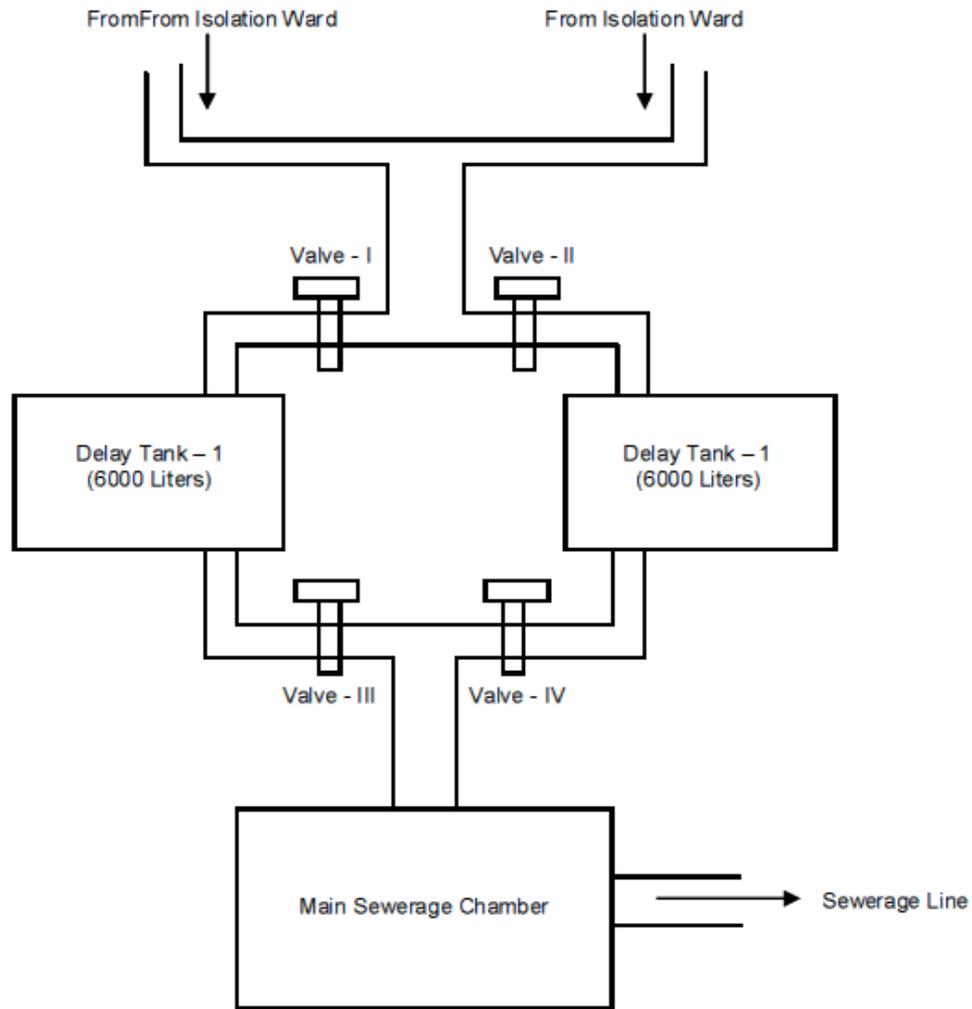
On occasions, larger waste volumes start to be generated at an existing facility where the best option would be to install decay tanks, but there is no available space for their construction, as may occur on hospital premises once new services of Iodine-131 therapy are introduced. To attempt construction within an existing hospital area might mean a reduction in essential services, so an alternative compromise solution must be found.

One such solution involves making further use of existing radioactive waste storage arrangements (often used only for solid waste) to incorporate a specific area for radioactive effluent decay storage. For this system to operate, it would necessitate that the patient undergoing treatment would collect his/her urine and transfer it into containers suitable for radioactive urine storage. Hospital staff would be required to assist with the transfer of urine into the container where the likelihood of contamination problems through spillage is high. Once the urine container is full, it should be sealed and placed in a shielded trolley for transfer to the radioactive waste storage area.

Tecnología para la gestión de los residuos líquidos.



Bogotá -Septiembre 21 de 2015.



Trabajo experimental -Universidad ECCI



US005564104A

United States Patent [19]
Pourfarzaneh

[11] Patent Number: **5,564,104**
[45] Date of Patent: **Oct. 8, 1996**

[54] METHODS OF REMOVING RADIOACTIVELY LABELED BIOLOGICAL MOLECULES FROM LIQUID RADIOACTIVE WASTE	4,800,042	1/1989	Kurumada et al.	252/628
	4,853,130	8/1989	D'Angelo et al.	210/663
	4,879,006	11/1989	Turner	204/1.5
	4,902,665	2/1990	Elfine	502/402
	4,992,377	2/1991	Saxholm	
	4,995,984	2/1991	Barkatt	
[75] Inventor: Matt Pourfarzaneh, Alameda, Calif.	5,024,767	6/1991	Kubo	
	5,096,624	3/1992	Dtner et al.	252/631
[73] Assignee: Cortex Biochem, Inc., San Leandro, Calif.	5,122,268	6/1992	Buraek et al.	210/202

OTHER PUBLICATIONS



US005352367A

United States Patent [19]
Ochiai et al.

[11] Patent Number: **5,352,367**
[45] Date of Patent: **Oct. 4, 1994**

[54] PROCESS FOR THE SEPARATION OF RADIOACTIVE IODINE COMPOUNDS BY PRECIPITATION	4,362,660	12/1982	Partridge et al.	252/631
	4,461,711	7/1984	Behrens	252/631
[75] Inventors: Ken-ichi Ochiai, Mito; Yoshiro Fuseya, Yokohama, both of Japan				
[73] Assignee: Doryokuro Kakuneryo Kaihatsu Jigyodan, Tokyo, Japan				
[21] Appl. No.: 970,847				

OTHER PUBLICATIONS

United States Statutory Invention Registration, Reg. No. H800, Beahm et al., Jul. 3, 1990.

Primary Examiner—Neil McCarthy
Attorney, Agent, or Firm—Wenderoth, Lind & Ponack

1571

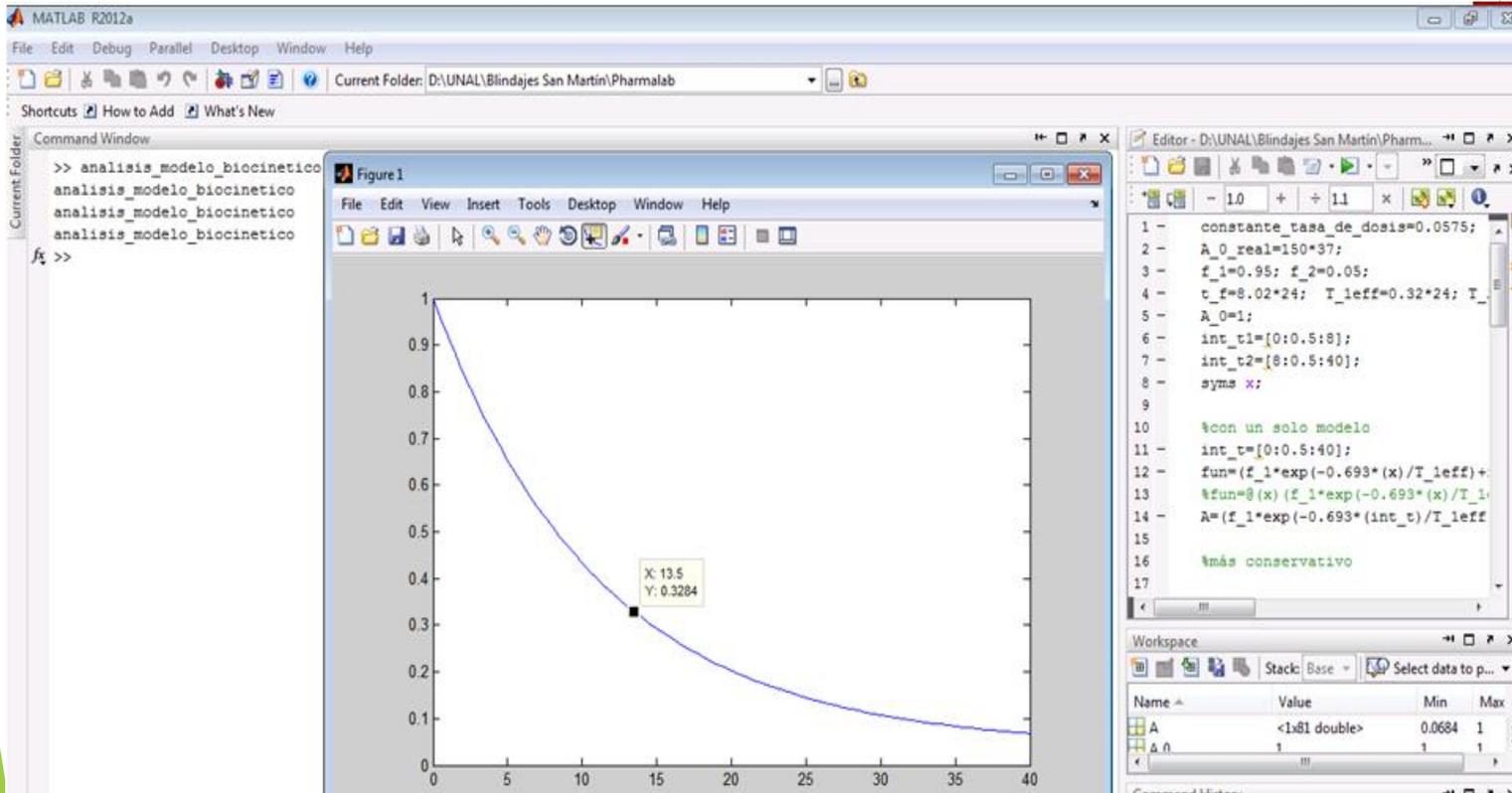
ABSTRACT

Cálculo de la Actividad Mínima Detectable



Bogotá -Septiembre 21 de 2015.

Importancia del modelo biocinético.

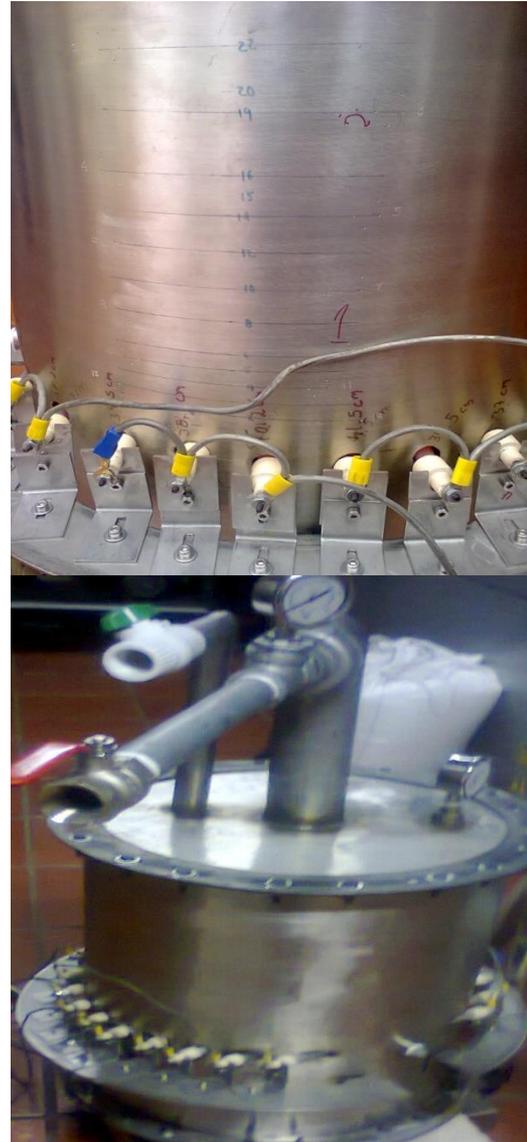


Primer Prototipo

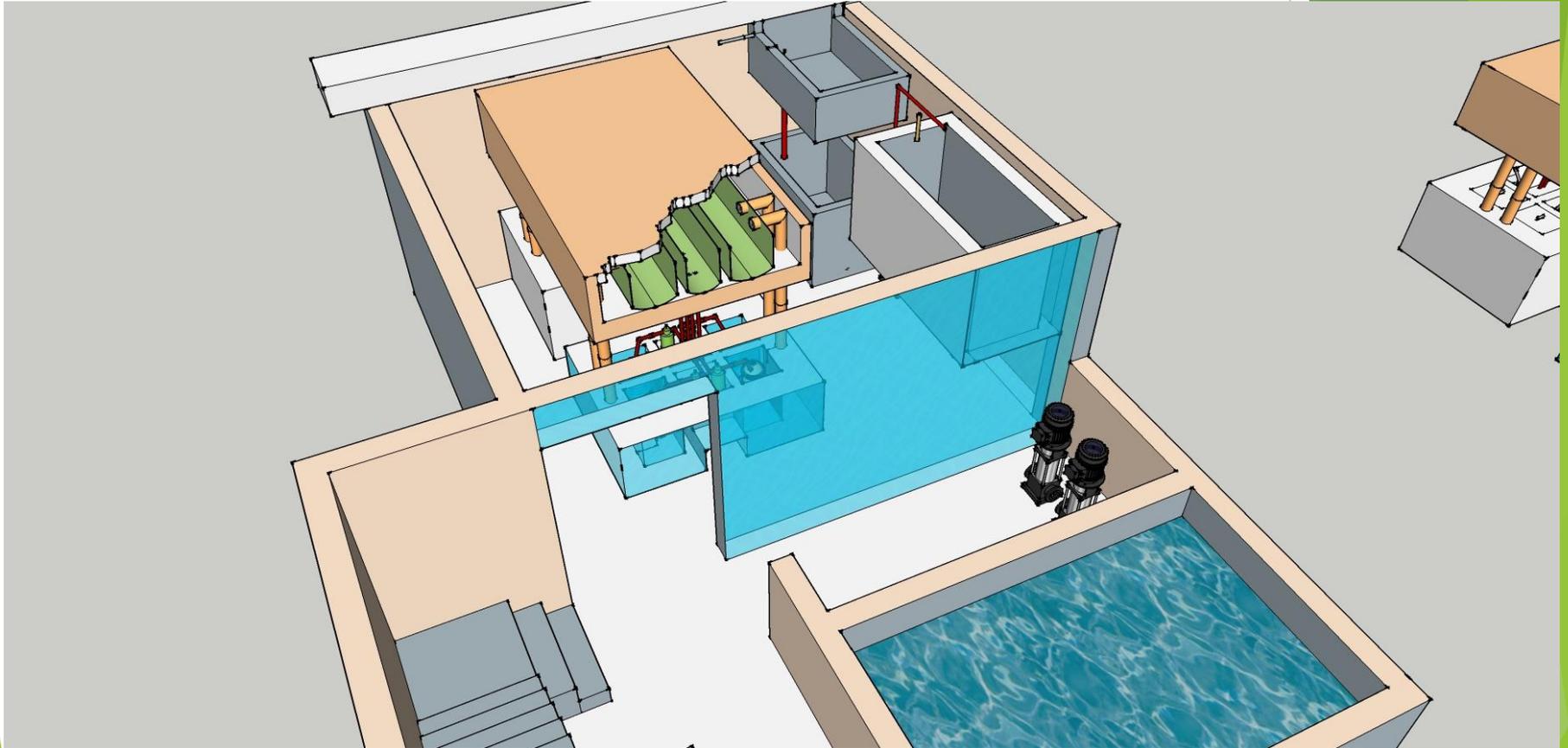


Bogotá -Septiembre 21 de 2015.

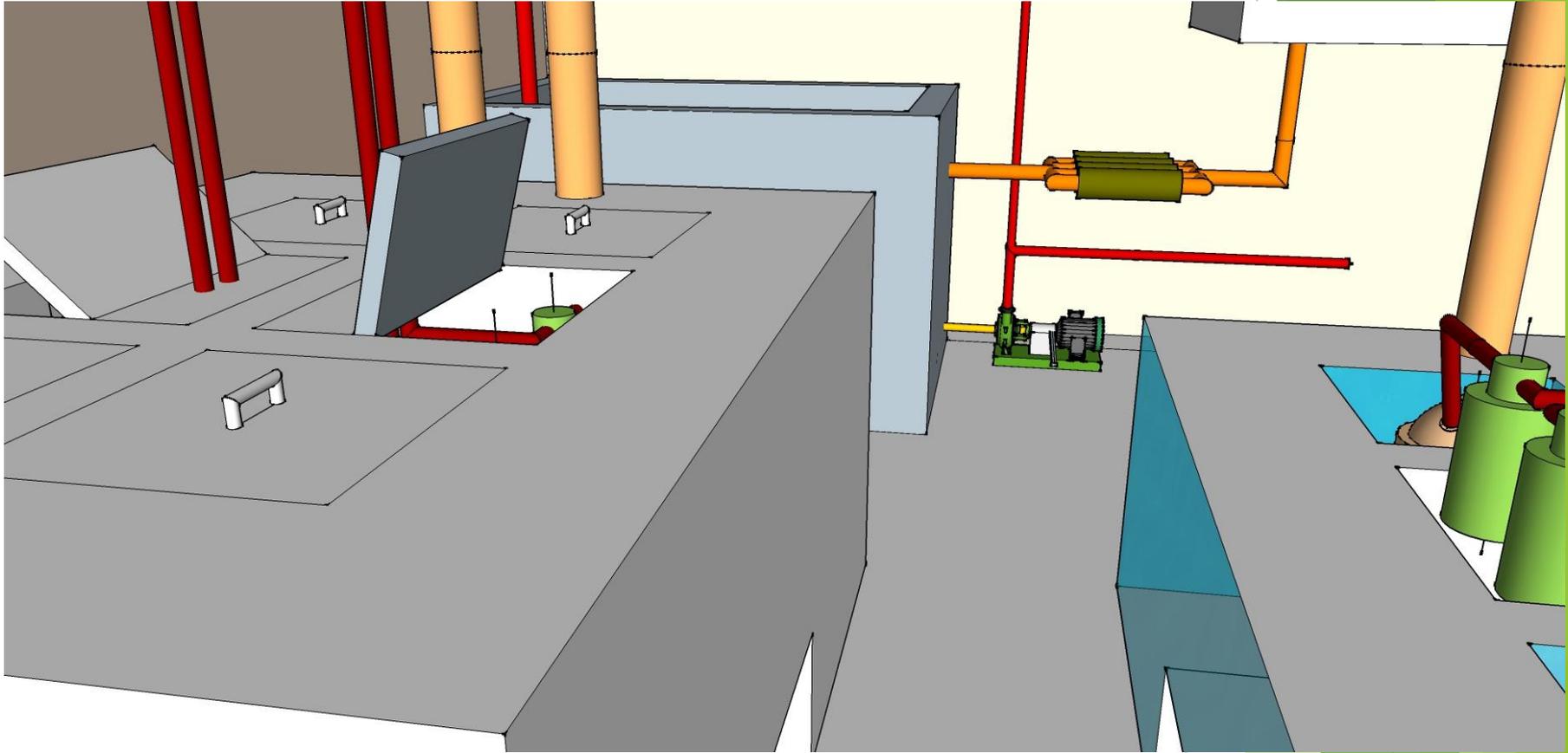
Primer Prototipo



Bogotá - Septiembre 21 de 2015.



Bogotá -Septiembre 21 de 2015.



Bogotá -Septiembre 21 de 2015.

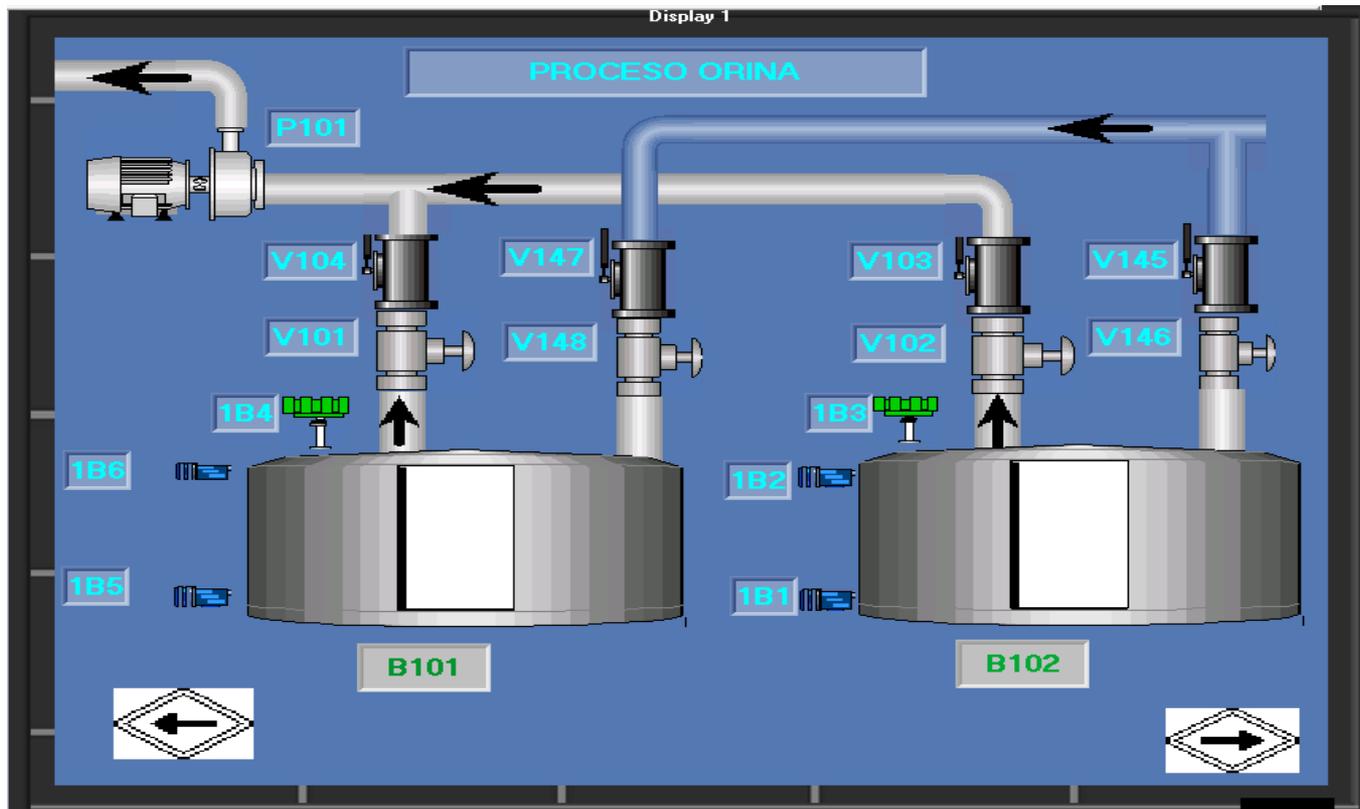
Desarrollo del sistema de monitoreo de áreas



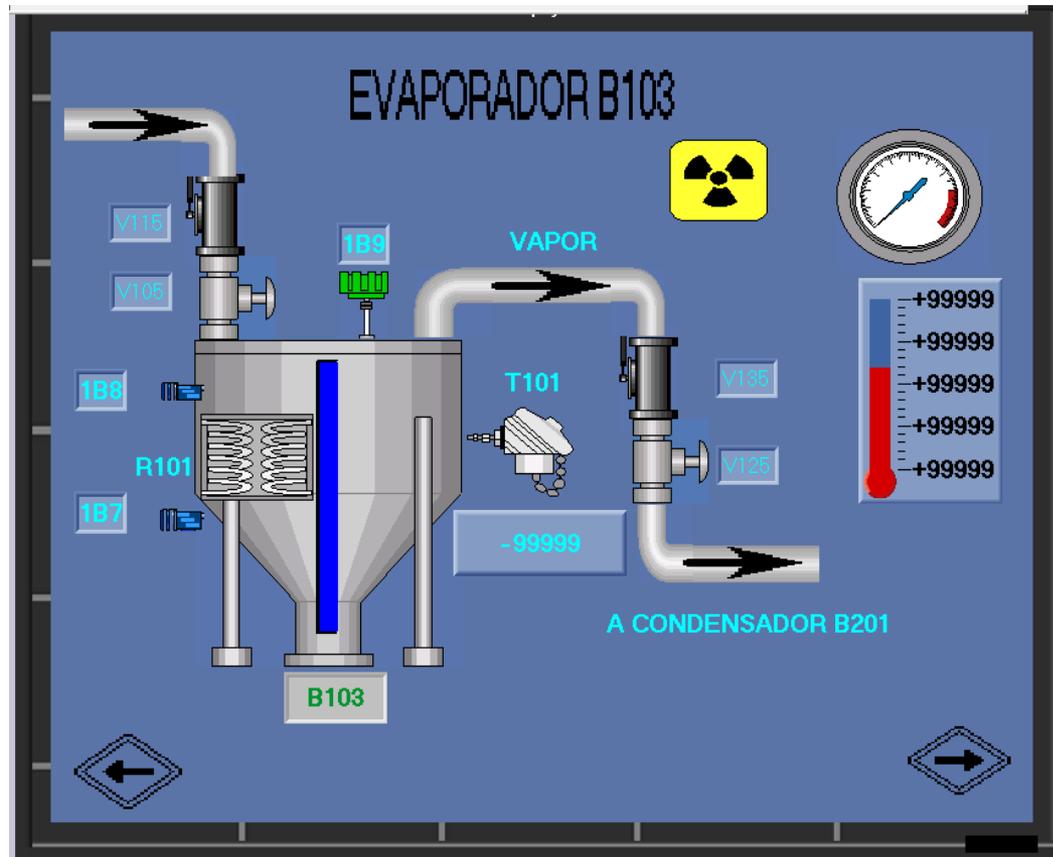
Bogotá -Septiembre 21 de 2015.

Tecnología desarrollada en Colombia

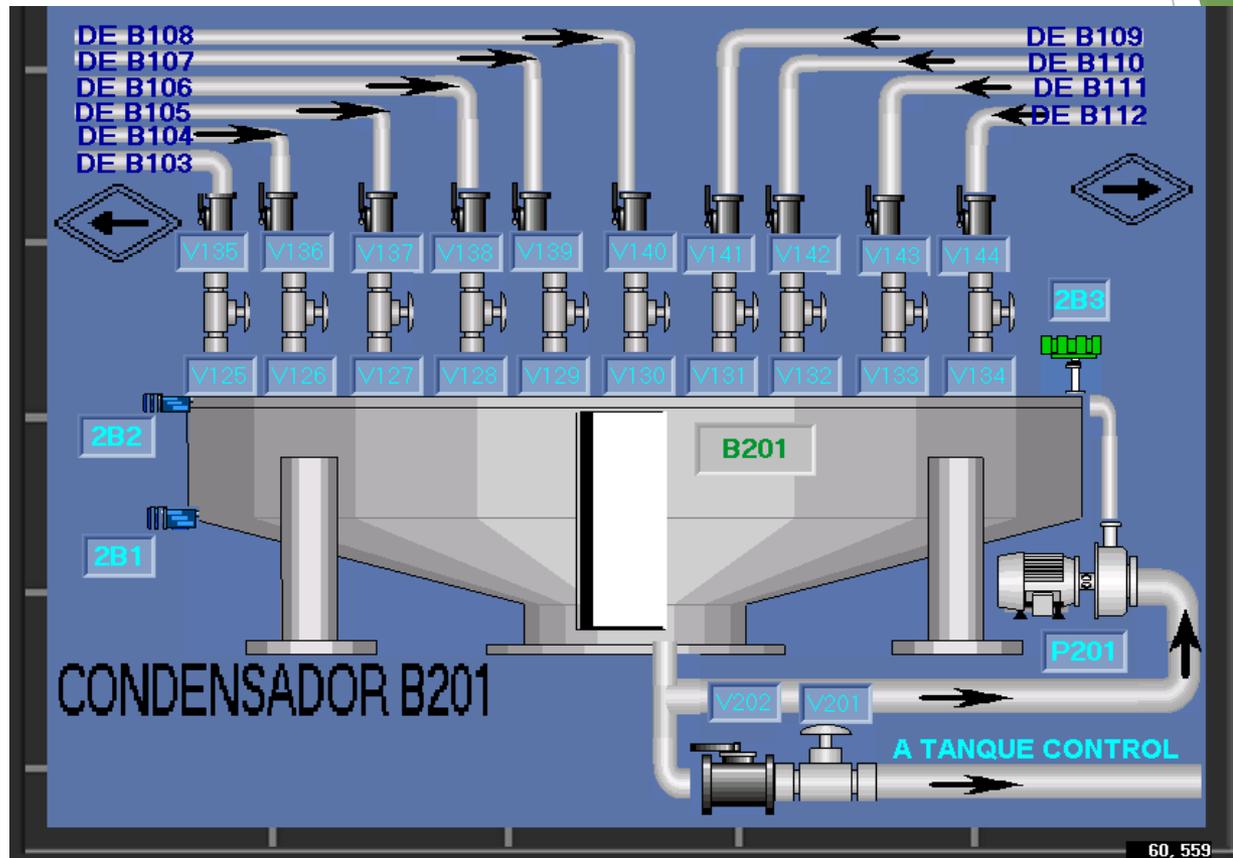
Entrada



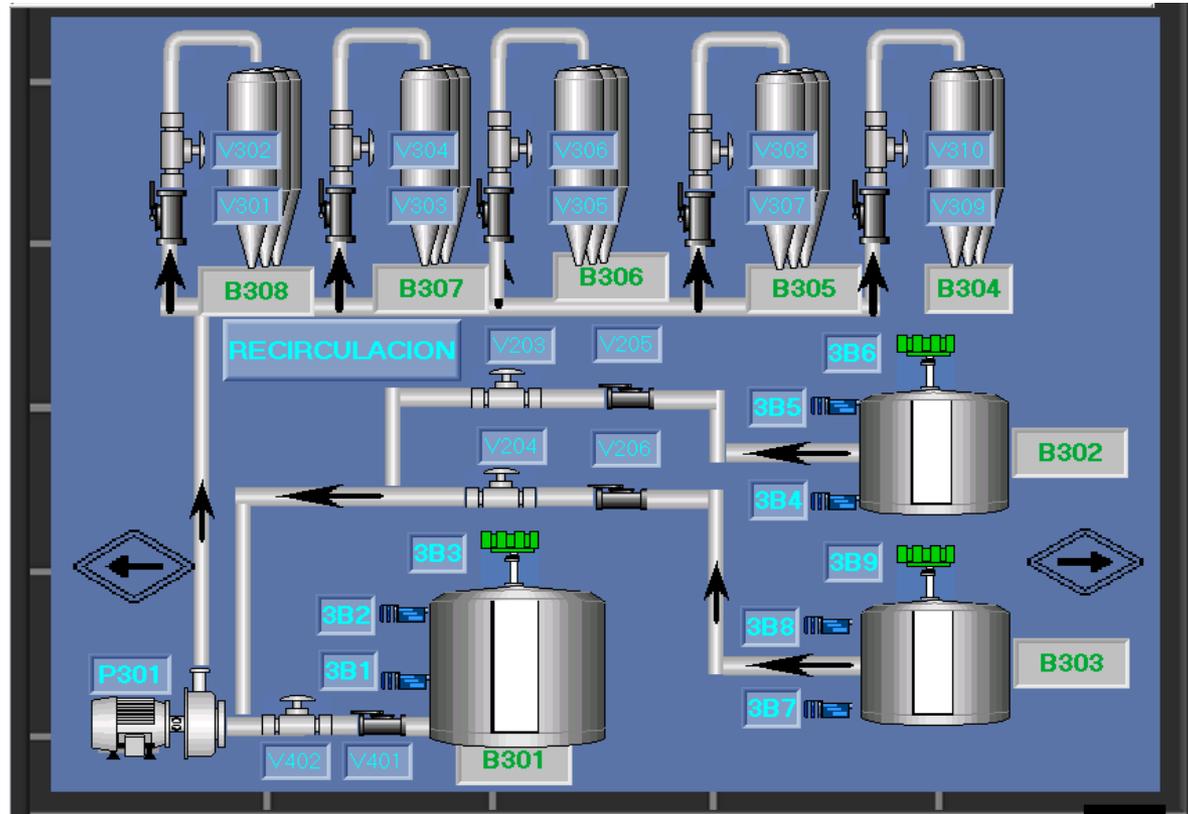
Procesamiento



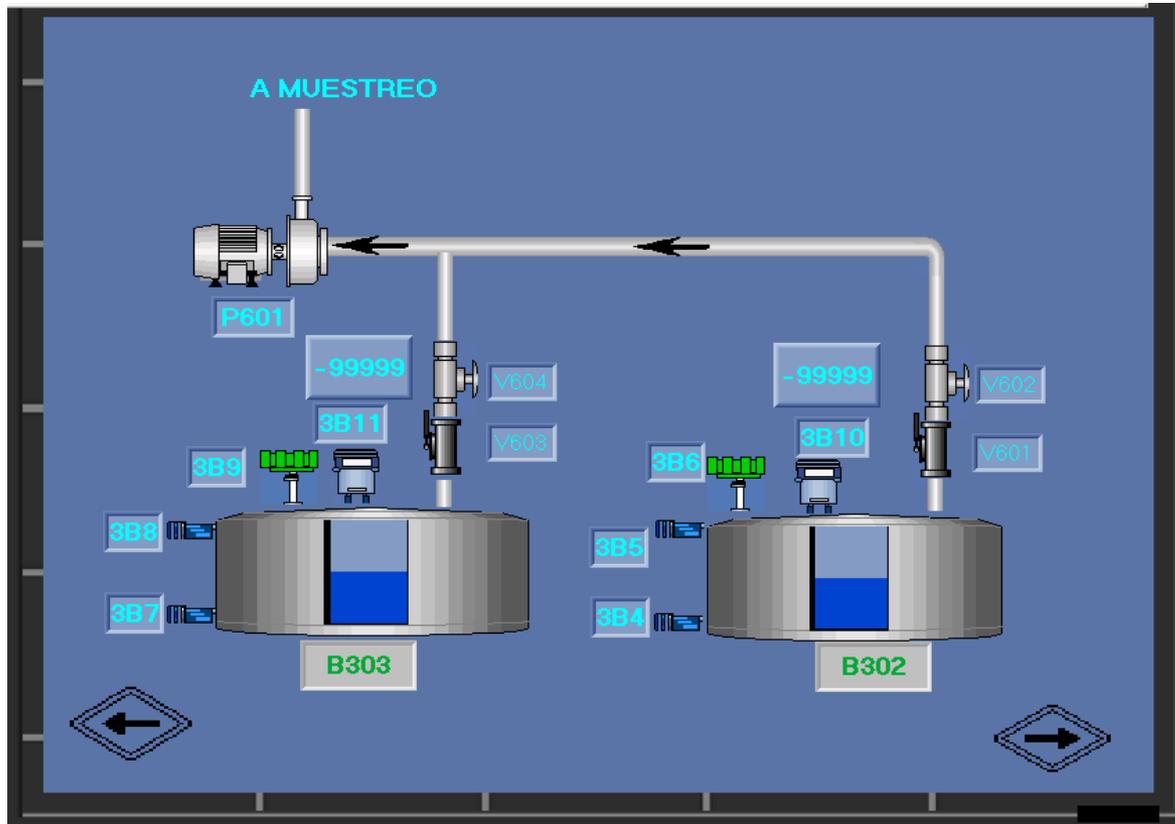
Procesamiento



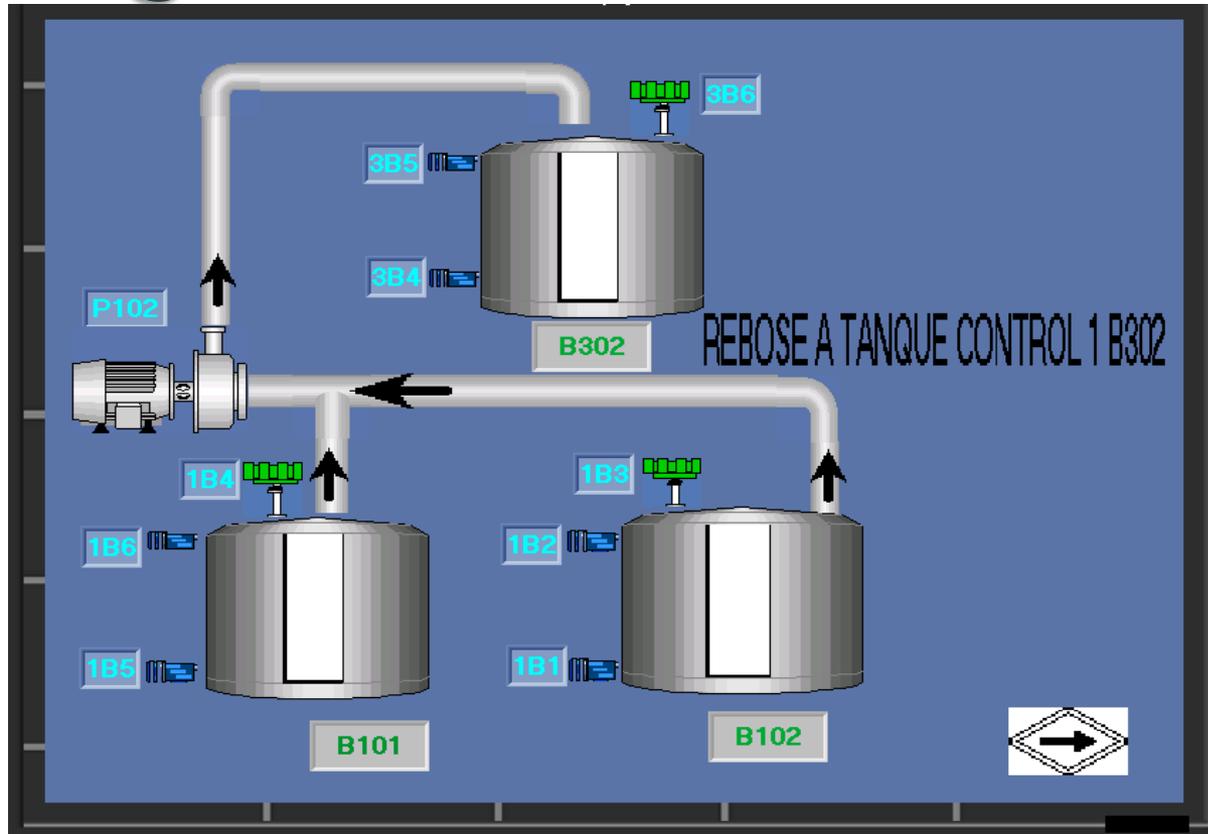
Filtrado



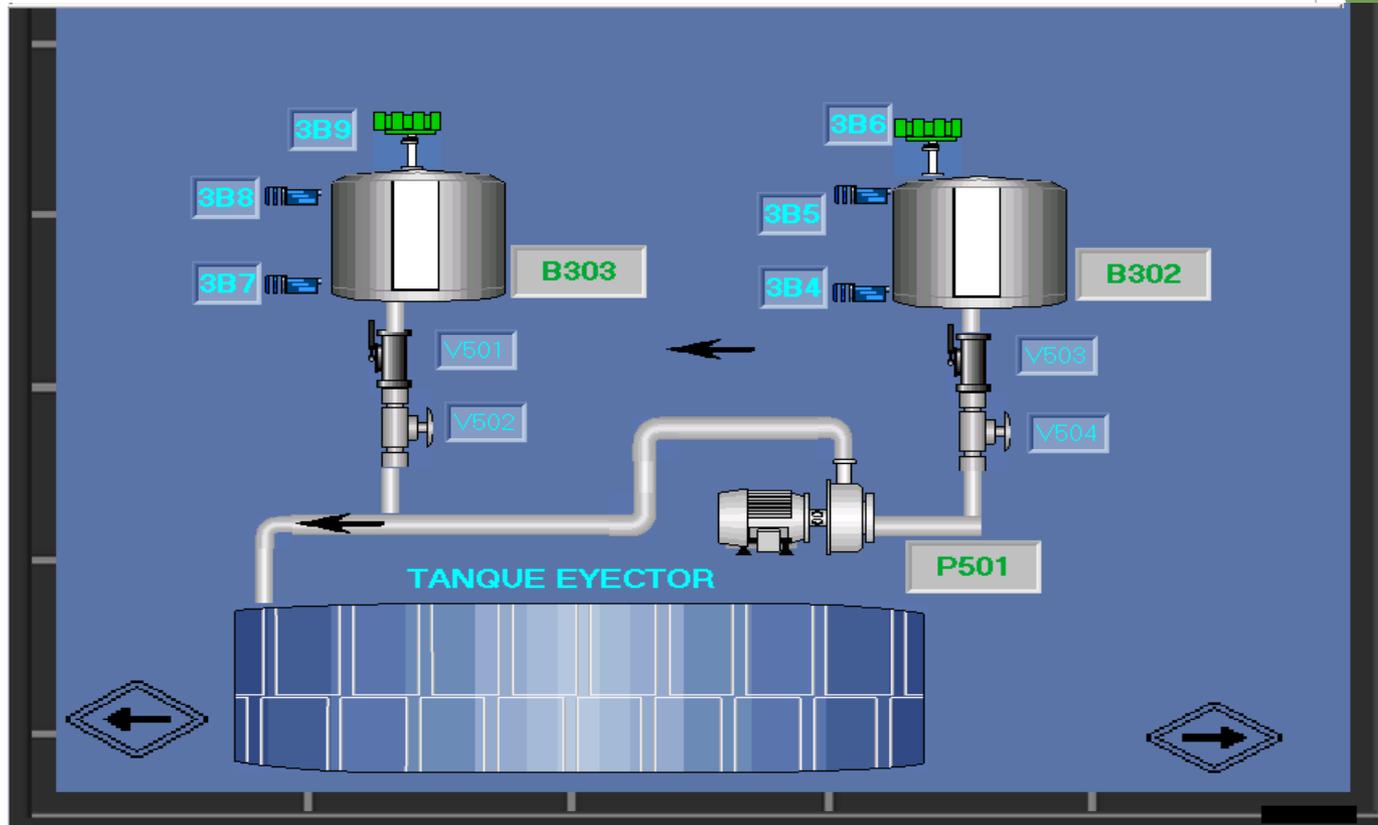
Control de calidad



Seguridad



Salida.



Muchas Gracias.

Bogotá -Septiembre 21 de 2015.