

**MINIMIZAR EL APORTE DE D₂O
A PILETAS DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES
Y TRANSFERENCIA DE H₂O AL SISTEMA PRIMARIO**

**ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES
Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE**

Alumna: Ing. Correa Silvia
Directores del Trabajo Final: Lic. Urrutia Guillermo
Ing. Berra Sandra



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. DESCRIPCION DEL PROCESO.....	5
3. OBJETIVO	7
4. DESARROLLO.....	7
4.1 CONTAMINACIÓN DE AGUA LIVIANA (H ₂ O) CON AGUA PESADA (D ₂ O) EN PILETAS.....	7
4.1.1 ESTIMACIÓN DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA CONCENTRACIÓN DE D ₂ O EN PILETAS Y ASOCIACIÓN CON INGRESOS A LAS MISMAS YA SEA DE EC U OTROS COMPONENTES.....	7
4.1.2 ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE D ₂ O EN H ₂ O (SISTEMA TX32/33), PREVIO AL BASCULADO DE LA BB PARA ENVÍO DE UN EC QUEMADO A LA PILETA.....	8
Pasos de la prueba.....	8
Determinar el valor de referencia de actividad de tritio.....	8
Determinar el valor final de actividad de tritio.....	8
4.1.3 ESTRATEGIA PARA REDUCIR CONCENTRACIÓN Y APORTES DE D ₂ O EN H ₂ O.....	9
4.2 CONTAMINACIÓN DE AGUA PESADA (D ₂ O) DEL SISTEMA PRIMARIO CON AGUA LIVIANA (H ₂ O).....	9
Alternativa 1.....	11
Alternativa 2.....	11
Alternativa 3.....	12
Alternativa 4.....	12
5 CONCLUSIONES.....	13
6 REFERENCIAS.....	13

ANEXOS

ANEXO 1 - Esquema 1. EC introducido en Botella Basculante desde piletas, inmerso en H ₂ O. (Circuito Abierto).....	14
ANEXO 1 - Esquema 2. EC en Botella Basculante antes de transferencia a Máquina de Carga, inmerso en D ₂ O.....	15
ANEXO 1 - Esquema 3. EC retirado del reactor y refrigerado con D ₂ O.....	16
ANEXO 1 - Esquema 4. EC semiquemado refrigerado con H ₂ O luego de proceso de secado. (Circuito Cerrado).....	17
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2001.....	18
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2002.....	19
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2003.....	20
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2004.....	21
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2005.....	22
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2006.....	23
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2007.....	24
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2008.....	25
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2009.....	26
ANEXO II - Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2010.....	27
ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2001.....	28
ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2002.....	29
ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2003.....	30
ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2004.....	31
ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2005.....	32
ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2006.....	33
ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2007.....	34

ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2008.....	35
ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2009.....	36
ANEXO II-Tabla 2-EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2–2010.....	37
Fig. 1 – Concentración de tritio en piletas TG1 y TG2 vs. Tiempo.....	38
Fig. 2 – Concentración de tritio, cantidad de EC y canales refrigerantes ingresados en piletas.....	39
Tabla 3 - Recambio de H ₂ O en piletas de EC.....	40
Fig. 3 - Recambio de H ₂ O en piletas vs. Tiempo.....	41
Esquema 5 - Columna de enriquecimiento (TE I).....	42
Esquema 6 - Alternativa 1.....	43
Esquema 7 - Alternativa 2.....	44
Esquema 8 - Alternativa 2.....	45
Esquema 9.....	46

1. INTRODUCCION

El tipo de reactor de CNA I es de uranio natural levemente enriquecido, refrigerado y moderado con agua pesada. Debido a esto, se tiene un escaso exceso de reactividad en el núcleo, por lo que es necesario efectuar cambios de elementos combustibles (EC) de manera continua.

Por otro lado, los elementos combustibles son almacenados en las piletas de almacenamiento, las cuales contienen agua liviana como medio refrigerante.

2. DESCRIPCION DEL PROCESO

A continuación se realiza una breve descripción del proceso de transporte del EC nuevo y gastado, en donde se puede producir el aporte de D₂O hacia piletas y H₂O hacia el sistema primario

Proceso de transporte de EC nuevo

Desde el momento en que un EC nuevo se introduce a la botella basculante, a través de la esclusa desde piletas, se hace circular agua liviana. En esta primera etapa la botella basculante se encuentra en posición horizontal y el agua liviana que se hace circular proviene del circuito de refrigeración de las piletas TG (circuito abierto). (Esquema 1 – Anexo I).

Una vez que la botella basculante pasa a través de la esclusa, la misma se coloca en posición vertical. El agua liviana se extrae de la botella basculante por desplazamiento al inyectar nitrógeno y luego el EC es sometido al proceso de secado antes de su transferencia a la máquina de carga.

El proceso de secado tiene como objeto eliminar el agua liviana adherida al EC e impedir su arrastre al sistema primario.

Concluido el proceso de secado, la botella basculante se inunda con agua pesada proveniente de un depósito de almacenamiento TX12B01, para luego transferir el EC a la máquina de carga y finalmente introducirlo en el reactor. (Esquema 2 – Anexo I).

Cuando se transfiere el EC se hace circular agua de refrigeración desde la botella basculante hasta la máquina de carga, el caudal regresa a un depósito elevado de agua pesada, el cual está en comunicación con el depósito de almacenamiento de agua pesada.

Proceso de transporte de EC gastado

Cuando un EC es retirado del reactor con la máquina de carga e introducido a la botella basculante, éste es refrigerado con agua pesada para extraer el calor residual.

El agua pesada es extraída del depósito de almacenamiento TX12B01 y recircula de modo continuo por la botella basculante, impulsada por una bomba.

El calor residual cedido en la botella basculante al agua pesada se transfiere por medio de un intercambiador al circuito de refrigeración intermedio TF. (Esquema 3 – Anexo I).

Se envía un volumen de agua pesada del depósito TX12B01, al sistema de control de volumen TA con el fin de mantener un volumen constante en el depósito y además para tratar el agua pesada. De esa manera se evita la acumulación de material radiactivo en el volumen limitado de refrigerante e impide la degradación del agua pesada del sistema primario.

Para evitar una degradación incontrolada de agua pesada, se supervisa la concentración de D₂O del circuito; si desciende por debajo del límite de concentración requerido, se interrumpe el envío al sistema de control TA.

Parte del volumen del sistema TA es enviado al sistema de enriquecimiento de agua pesada TE.

Luego se procede a retirar el medio refrigerante de la botella basculante y se continúa con el secado del EC.

En este paso el proceso de secado tiene como objeto eliminar el agua pesada adherida al EC e impedir el arrastre de la misma a la pileta de almacenamiento.

Una vez concluido el proceso de secado, se inunda la botella basculante con agua liviana, continuándose la refrigeración con dicho medio, hasta que el EC sea enviado a la pileta de almacenamiento.

Mientras la botella basculante se encuentre en posición vertical, el suministro de agua liviana para refrigeración se realiza a través de un circuito cerrado y el calor extraído se transfiere al sistema TF. (Esquema 4 – Anexo I).

Cuando la botella se coloque en posición horizontal, el agua liviana provendrá del circuito de refrigeración de las piletas TG y retorna al mismo sistema.

El proceso de secado del EC se realiza con gas nitrógeno (N₂), el cual es impulsado por una soplante a la botella basculante, previo calentamiento del mismo.

Al salir de la botella basculante y antes de regresar a la soplante, se separa el agua absorbida en un enfriador y en el condensador-separador de agua.

Durante el desarrollo de algunos de los procesos descritos anteriormente, se produce una contaminación del agua liviana de las piletas de almacenamiento de EC con agua pesada, como del agua pesada del sistema primario con agua liviana.

3. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es minimizar la contaminación cruzada durante el proceso de recambio de EC en el reactor, tanto del agua liviana de las piletas de almacenamiento de EC con agua pesada, como del agua pesada del sistema primario con agua liviana.

4. DESARROLLO

4.1. CONTAMINACIÓN DE AGUA LIVIANA (H₂O) CON AGUA PESADA (D₂O) EN PILETAS

Los inconvenientes de mantener concentraciones relativamente altas de agua pesada, tritio y otros elementos radiactivos en las piletas de almacenamiento de EC, es la contaminación con tritio del ambiente del edificio de piletas, con la consecuente problemática de dosis en el personal.

Tener en cuenta que el efecto de contaminación del agua de piletas, es acumulativo con cada ingreso de combustible.

Con el propósito de minimizar dicha contaminación se estableció el siguiente plan de trabajo:

4.1.1 ESTIMACIÓN DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA CONCENTRACIÓN DE D₂O EN PILETAS Y ASOCIACIÓN CON INGRESOS A LAS MISMAS YA SEA DE EC U OTROS COMPONENTES

Primeramente se realizó un relevamiento de los controles radiológicos del agua depositada en las piletas de refrigeración de los EC, con el objeto de poder trazar una curva de concentración de tritio a lo largo del tiempo. (Tabla 1 – Anexo II).

En la Fig. 1 – “Concentración de tritio en piletas TG1 y TG2 vs. Tiempo” se observa que durante el período Enero 2001 - Noviembre 2004 existe una tendencia creciente en la concentración de tritio en ambas piletas. A partir de Noviembre del 2004 la concentración de tritio comenzó a disminuir, continuando una tendencia decreciente hasta alcanzar una estabilidad en Enero del 2010.

Para poder entender a qué se debe el aumento y posterior disminución de la concentración de tritio, se realizó un relevamiento de la cantidad de EC y otros componentes que hayan ingresado a piletas a lo largo de los 10 últimos años. (Tabla 2 – Anexo II).

A partir del año 1998 comenzaron las tareas de cambio de canales refrigerantes del reactor, los cuales fueron depositados en las piletas de almacenamiento de EC. Esta tarea finalizó en el año 2005, totalizando un cambio de 231 canales refrigerantes.

Si se asocia este dato con la variación de concentración de tritio en piletas, se puede concluir que el aumento de la concentración de tritio en el período Enero 2001 – Noviembre 2004 está relacionada con la extracción de canales refrigerantes del reactor e introducción de los mismos en piletas. Además se debe considerar el ingreso de los EC semiquemados que contenían los canales refrigerantes extraídos del reactor. (Ver Fig. 2 - “Concentración de tritio, cantidad de EC y canales refrigerantes ingresados en piletas”).

4.1.2 ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE D₂O EN H₂O (SISTEMA TX32/33), PREVIO AL BASCULADO DE LA BB PARA ENVÍO DE UN EC QUEMADO A LA PILETA

Realizar una medición directa del aporte de D₂O producido por el ingreso de EC quemados en piletas no sería efectivo, ya que dicho aporte sería imperceptible debido al gran volumen de las piletas.

Para que resulten valores detectables se propuso realizar una prueba, la cual consistía en evaluar el aporte de D₂O de un EC quemado en el Sistema de Suministro de H₂O a la Botella Basculante (TX30).

Este sistema refrigera al EC que se encuentra en la Botella Basculante luego de ser extraído del reactor y antes de ser enviado a piletas. Con ello se podría estimar el incremento de la concentración de tritio (medida en actividad) en el volumen del sistema TX30. La medición debería realizarse cuando el EC quemado entra a la Botella Basculante y antes que el sistema de refrigeración de piletas (TG) se conecte con el TX30, es decir que pase a circuito de refrigeración abierto.

Pasos de la prueba:

a) Determinar el valor de referencia de actividad de tritio:

Este valor sería medido en una muestra del sistema TX30 tomada en el momento que la botella basculante contenga un EC nuevo sumergido en H₂O y se encuentre en posición vertical (sistema TG aislado respecto del TX30).

b) Determinar el valor final de actividad de tritio:

Este valor se mediría en una muestra del Sistema TX30 tomada en el momento en que la botella basculante contiene un EC quemado sumergido en H₂O y se encuentra en posición vertical (sistema TG aislado respecto del TX30).

La toma de las muestras se realizaría sobre la toma de un manómetro, para lo cual debería ser retirado. Se debería además drenar, dejando correr unos litros de agua para evitar tomar agua que se encuentre estancada en la línea del manómetro.

Ya que en el punto 4.1.1. se concluyó que el aumento de la concentración de tritio se debió a la gran cantidad de canales refrigerantes dispuestos en piletas y a los EC semiquemados que ellos habían contenido, la prueba descrita no se realizó.

Como se observa en la Fig. 2, si bien la concentración de tritio disminuyó considerablemente e incluso se estabilizó, los valores en los que se encuentra no son cero, ya que siempre existirá un mínimo aporte de D₂O con cada EC introducido a piletas debido a que el proceso de secado no es totalmente efectivo.

4.1.3 ESTRATEGIA PARA REDUCIR CONCENTRACIÓN Y APORTES DE D₂O EN H₂O

Durante los años analizados, se realizaron recambios de parte del volumen de H₂O de las piletas. (Tabla 3 – Anexo II).

En Fig. 3 – Recambio de H₂O en piletas, se observa que:

1. Durante el período en que se introdujeron canales refrigerantes en piletas, no se produjo un descenso de concentración de tritio luego de cada renovación parcial de H₂O. Esto puede deberse a que el volumen de H₂O renovado no fue suficiente para contrarrestar el efecto del D₂O enviada con los canales refrigerantes y EC semiquemados ingresados en el período.
2. Luego de finalizado el recambio de canales, la concentración de tritio descendió con cada renovación de H₂O.

En función de lo anteriormente expuesto, se puede establecer como estrategia la renovación parcial de H₂O cuando la concentración de tritio en piletas tienda a subir por encima de los valores actuales. Es importante mencionar que actualmente los valores de concentración de tritio en piletas son de 1,6 µCi/ml.

Como se explicó en el punto 4.1.1. el mayor aporte de D₂O a piletas se dio cuando se introdujeron canales refrigerantes, mientras que el aporte de cada EC es mínimo y depende del proceso de secado. Por lo que no se buscará una estrategia para reducir el aporte de D₂O a piletas.

4.2 CONTAMINACIÓN DE AGUA PESADA (D₂O) DEL SISTEMA PRIMARIO CON AGUA LIVIANA (H₂O)

Como se mencionó en Descripción del Proceso, del presente trabajo, cuando un EC ingresa a la botella basculante desde piletas, el medio en que está inmerso es H₂O.

Posteriormente le sigue el proceso de secado y por último se llena la botella basculante con D₂O, quedando el EC inmerso en la misma para luego ingresar al reactor.

En este proceso, se envía D₂O con concentraciones de H₂O hacia el sistema primario. Esto hace que el D₂O se vaya degradando continuamente.

El envío de D₂O con concentraciones de H₂O hacia el sistema primario puede producirse por lo siguiente:

1. Cuando el EC ingresa al reactor. Esto ocurre porque el proceso de secado no es perfecto.
2. Cuando se envía un caudal de D₂O del sistema de refrigeración TX12 al sistema de control de volumen (TA). Esto se hace para purificar un volumen de D₂O en las columnas de enriquecimiento (TE) y poder mantener la concentración de D₂O dentro de ciertos límites.

A continuación se da una breve explicación del sistema de enriquecimiento TE.

El sistema TE consta de dos columnas de enriquecimiento:

- La columna de enriquecimiento I se alimenta con D₂O procedente del sistema TA, previo paso por el sistema de limpieza complementario TU2. El pasaje previo tiene como objeto eliminar las impurezas sólidas radiactivas, gases y aceites que puedan ensuciar las columnas de enriquecimiento. La presencia de estas impurezas podría disminuir la eficiencia de las columnas. Además la limpieza previa permite reducir la dosis de radiación en el personal que opera el circuito TE, (éste último no está blindado). El producto de pie de la columna I se devuelve al sistema TA a través del sistema de purificación TU1. Este sistema elimina o retiene eventuales impurezas (Cu). (Ver Esquema 5).
- La columna de enriquecimiento II se alimenta con el producto de cabeza de la columna I y de otras soluciones de concentración variable en D₂O procedentes de los depósitos de almacenamiento del sistema TY. El producto de cabeza se desecha y el producto de pie se retorna al TA a través de la cadena de purificación del TU1, o reprocesa por la columna I.

Para minimizar la cantidad de H₂O enviada al D₂O del sistema primario durante el ingreso de un EC nuevo al reactor, se estudia la posibilidad de enviar el volumen de D₂O del tanque TX12B001 a las columnas de enriquecimiento TE, sin previo paso por el sistema de control de volumen (TA). De esa manera se evita degradar el agua del sistema primario.

El envío del contenido del tanque TX12B001, se puede realizar cuando el sistema de refrigeración con D₂O se encuentre en servicio, pero en "by pass" con respecto a la botella basculante.

A continuación se presentan distintas alternativas de envío del D₂O del tanque TX12B001.

Alternativa 1

Enviar el contenido del tanque TX12B001 al sistema de desagües y venteos de componentes (TY1).

En este sistema se recogen todas las fugas líquidas que se producen durante el servicio, así como los drenajes efectuados por motivos de mantenimiento para su posterior tratamiento.

Los drenajes de aquellos componentes cuya presión y temperatura no son tan elevadas como es el caso del agua de tanque TX12B001, pueden enviarse directamente al depósito intermedio TY13B001. Normalmente a este depósito drenan líquidos con diversas concentraciones de D₂O.

Una vez que se alcanza el nivel máximo del depósito se toma una muestra para determinar la concentración. En función de la concentración, el D₂O contenida en el depósito se conduce a uno de los tanques colectores TY41/42/43/44/45/46 B001 o directamente al sistema de regulación de volumen TA.

Para poder enviar el contenido del tanque TX12B001 al depósito TY13B001 se debe tener la precaución de cerrar todas las válvulas de entrada a dicho tanque antes de abrir la válvula TY12S001. De esta manera se previene la degradación del volumen del tanque TX12B001. Una vez que el volumen de D₂O se encuentre en TY13B001, cerrar la válvula TY12S001, para luego impulsar el líquido mediante la bomba TX31D001 hasta el sistema de enriquecimiento (TE).

Para enviar al sistema de enriquecimiento (TE), se debe realizar una modificación a la instalación, colocando una derivación en la cañería que ingresa al sistema TA (tanques TA35/36/37/38B01). Ver Esquema 6.

Alternativa 2

Enviar el contenido del tanque TX12B001 mediante la apertura de la válvula TY12S001, al tanque de recolección de D₂O de empaquetaduras de las bombas TA (TA45B001). Una vez allí, el contenido del tanque TA45B001 sería enviado a la columna de enriquecimiento I previo paso por sistema de limpieza TU2.

Ver Esquemas 7 y 9.

Para poder implementar esta alternativa se debe realizar una modificación a la instalación. La misma consistiría en colocar una derivación en la cañería que va desde la válvula TY12S001 hasta el depósito TY13B001 y enviarla hacia el tanque TA45B001.

Alternativa 3

Enviar el contenido del tanque TX12B001 mediante la apertura de la válvula TY12S001, al recipiente para productos de base de la columna de enriquecimiento II (TE28B001).

Una vez allí, el contenido del tanque TE28B001 sería enviado a la columna de enriquecimiento I previo paso por sistema de limpieza TU2. Ver Esquemas 8 y 9.

Al igual que en la alternativa 2, se debe realizar una modificación a la instalación que consiste en colocar una derivación en la cañería que va desde la válvula TY12S001 hasta el depósito TY13B001, pero en este caso enviarla hacia el tanque TE28B001. Tanto la cañería como demás componentes se encuentran ubicados en el edificio auxiliar del reactor.

Alternativa 4

Extraer el contenido del tanque TX12B001 directamente con la bomba TU21D001 del sistema de limpieza y mediante la apertura de la válvula TY12S001. Ver Esquema 9.

Al igual que en las alternativas 2 y 3, se debe realizar una modificación a la instalación que consista en colocar una derivación en la cañería que va desde la válvula TY12S001 hasta el depósito TY13B001, pero en este caso enviarla a la cañería de aspiración de la bomba TU21D001. Esta bomba se encuentra en el edificio auxiliar del reactor.

En todas las alternativas la bomba centrífuga TU21D001 extraerá un caudal del recipiente que contenga el volumen de TX12B001, para que luego de extraerle las impurezas sólidas radiactivas, gases y aceites se envíe hacia la columna de enriquecimiento I. La extracción de las impurezas se logra mediante del pasaje del D₂O por un intercambiador de lecho mixto, un filtro para retención de resinas y un desgasificador.

En el momento en que se decida enviar el contenido del tanque TX12B001, evitando pasar por el sistema TA, se debería realizar un análisis costo beneficio para determinar la alternativa más conveniente.

5. CONCLUSIONES

El mayor aporte de D₂O a piletas de almacenamiento de EC se produjo cuando se introdujeron en ellas canales refrigerantes. El aporte de D₂O con cada EC semiquemado o quemado introducido en piletas es mínimo y depende de cuan eficiente sea el proceso de secado del EC. Por lo que siempre existirá una contaminación del H₂O de las piletas con D₂O.

Con renovaciones parciales de H₂O de las piletas se logró reducir la concentración de tritio en las mismas, a valores de 1,6 µCi/ml. En función de esto se aconseja como estrategia la renovación parcial de H₂O de piletas, cuando tienda a subir la concentración de D₂O en H₂O.

Para minimizar la cantidad de H₂O enviada al D₂O del sistema primario durante el ingreso de un EC nuevo al reactor, se estudió la posibilidad de enviar el volumen de D₂O del tanque TX12B001 a las columnas de enriquecimiento TE, sin previo paso por el sistema de control de volumen (TA). De esa manera se evitaría degradar el agua del sistema TA.

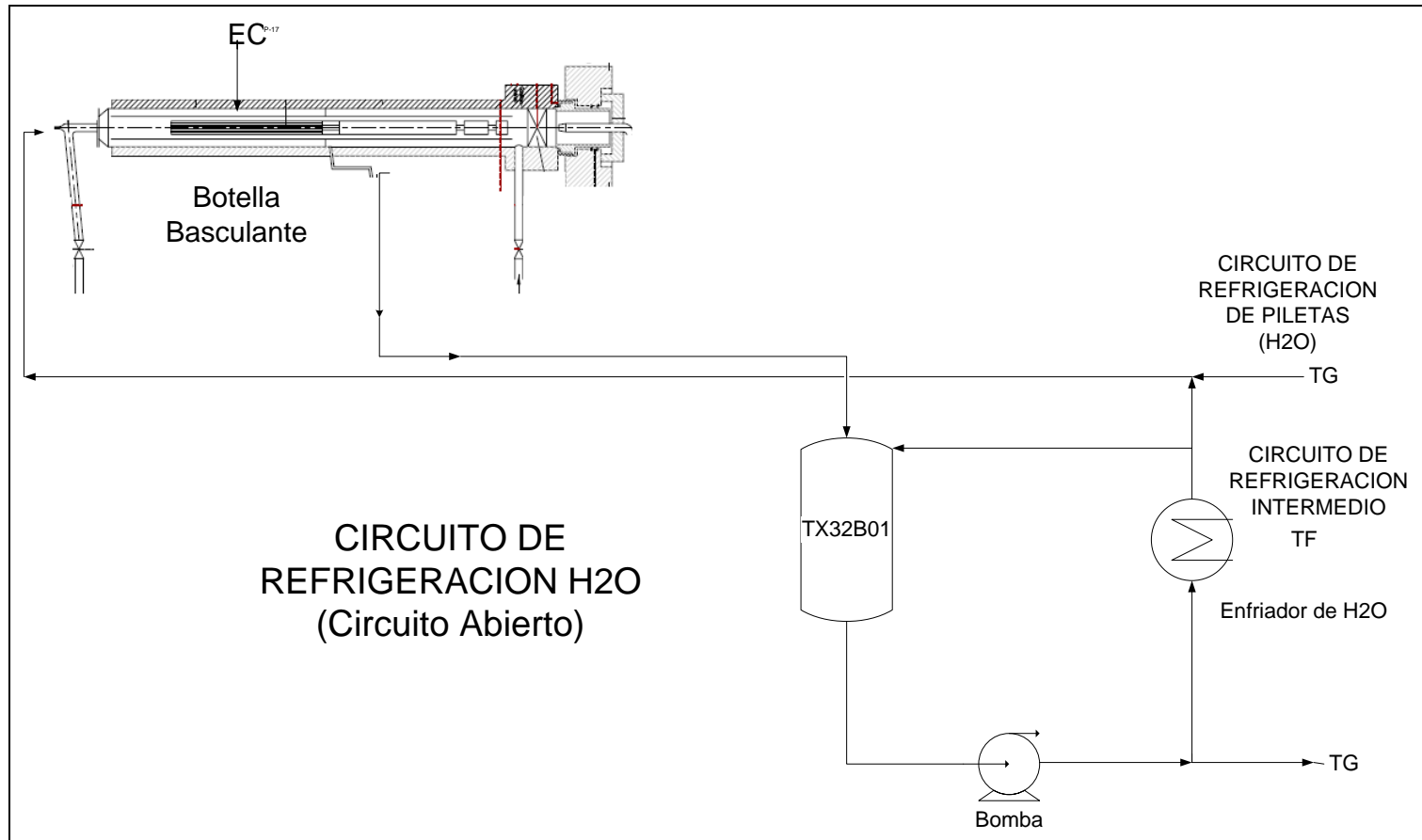
El envío del contenido del tanque TX12B001 se puede realizar cuando el sistema de refrigeración con D₂O se encuentre en servicio, pero en “by pass” con respecto a la botella basculante.

Existen diferentes alternativas de envío del D₂O del tanque TX12B001 hacia las columnas de enriquecimiento TE. En el momento en que se decida llevar a cabo alguna de ellas, se debería realizar un análisis costo beneficio para determinar la alternativa más conveniente.

6 REFERENCIAS

- 1 Manual de Operaciones de CNA I
- 2 Datos químicos – radiológicos de planta
- 3 Flow Sheet de Planta - CNA I

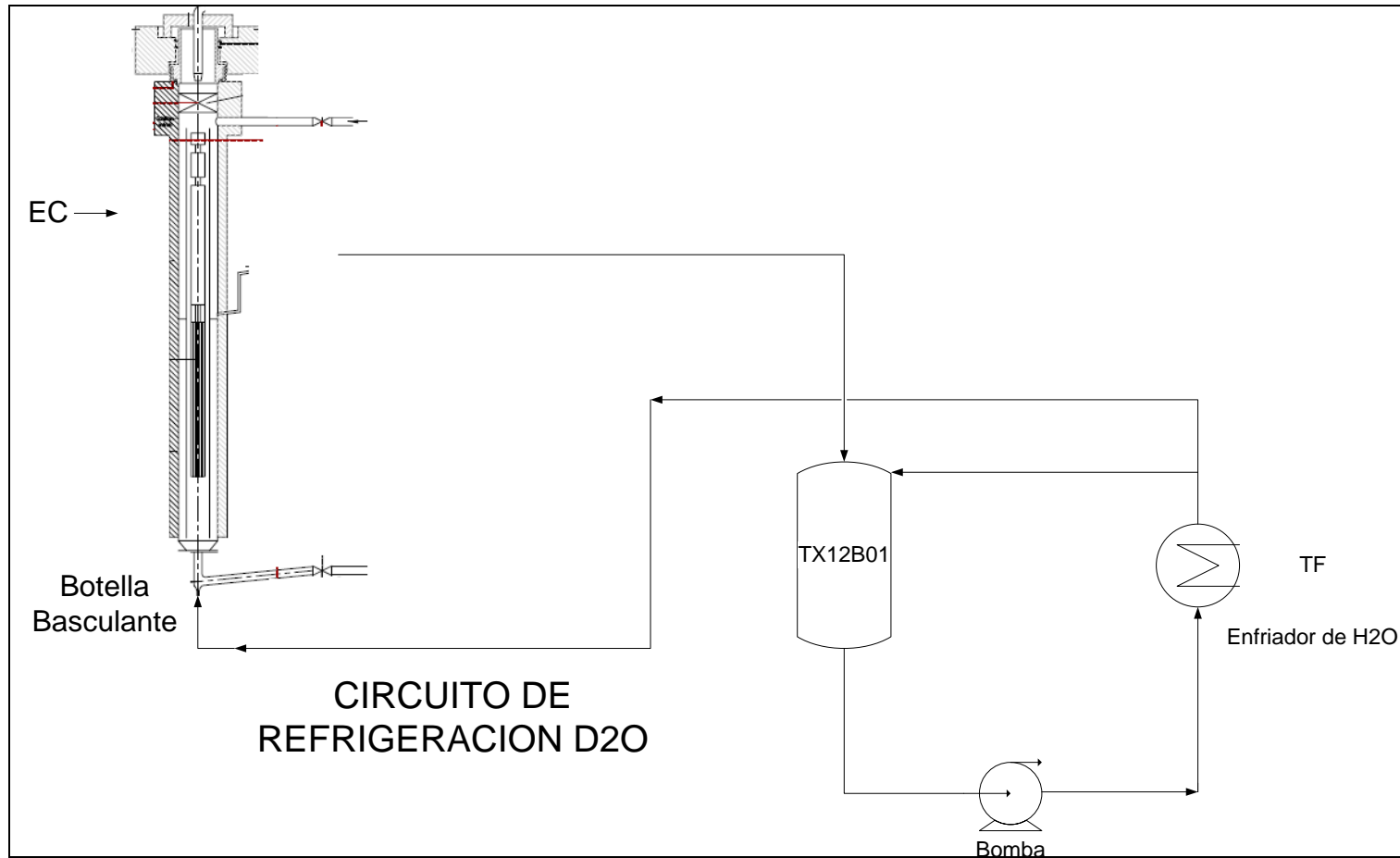
ANEXO I



Esquema 1

EC introducido en Botella Basculante desde piletas, inmerso en H₂O. (Circuito Abierto)

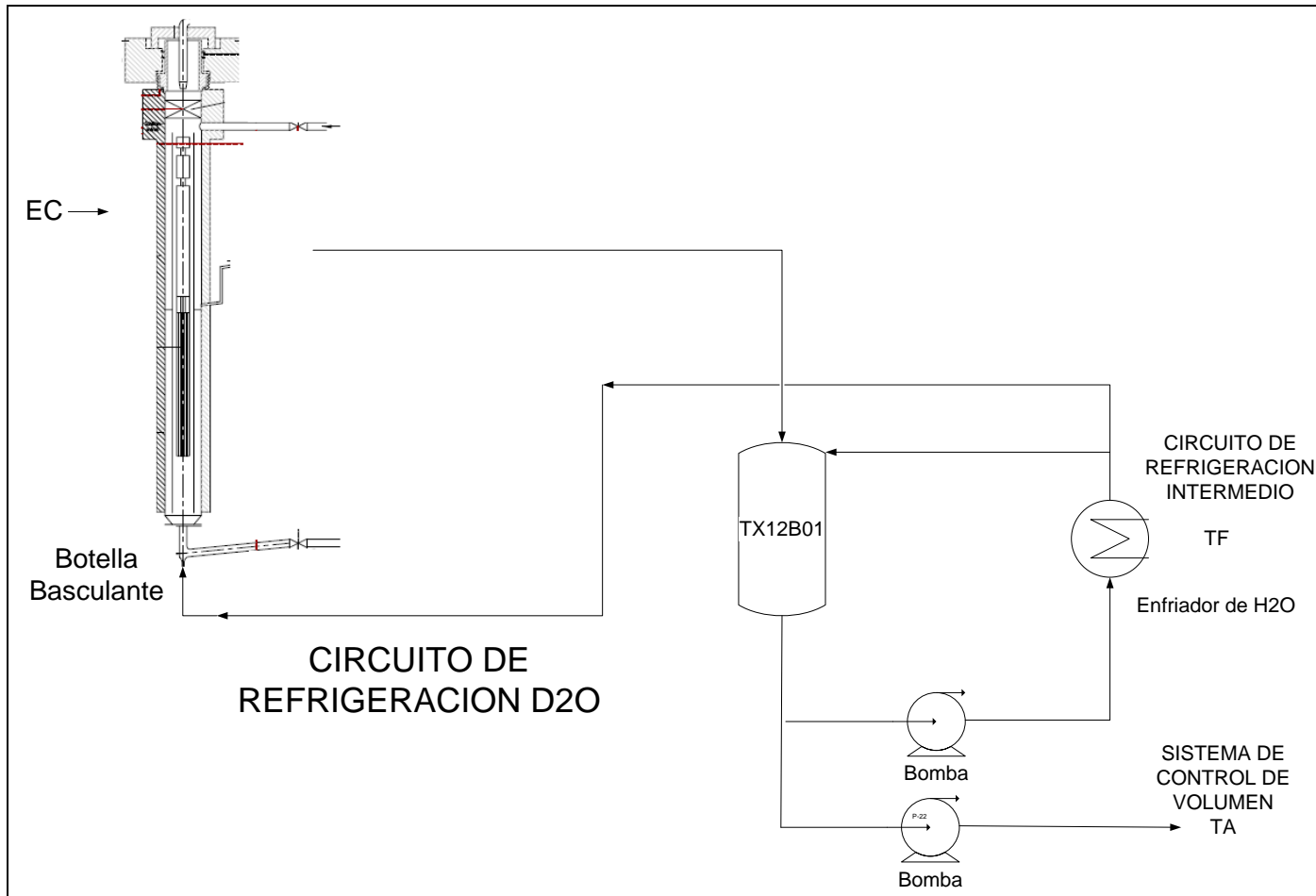
ANEXO I



Esquema 2

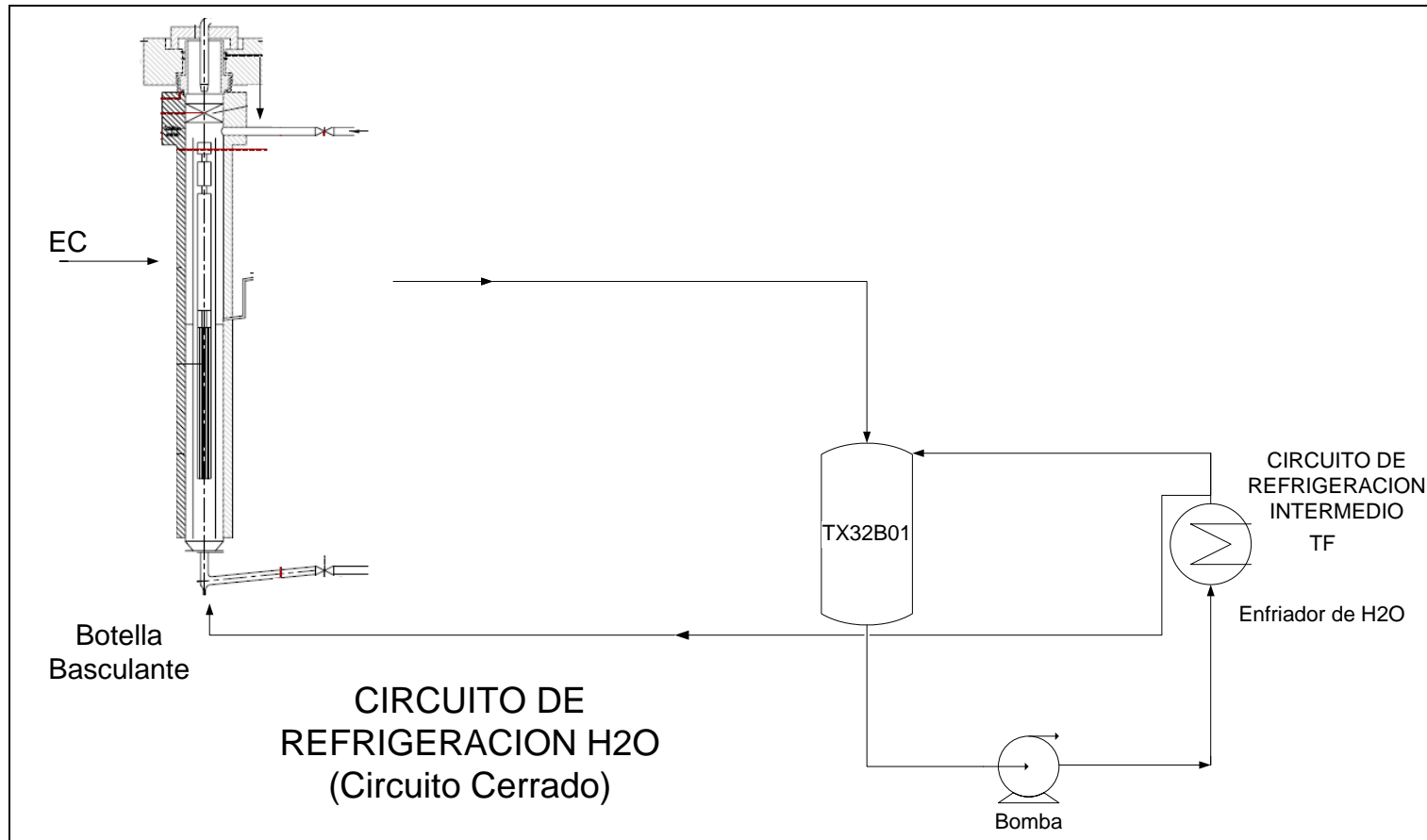
EC en Botella Basculante antes de transferencia a Máquina de Carga, inmerso en D₂O

ANEXO I



Esquema 3
EC retirado del reactor y refrigerado con D₂O.

ANEXO I



Esquema 4

EC semiquemado refrigerado con H₂O luego de proceso de secado. (Circuito Cerrado)

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2001

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [μ Ci/ml]	TG2 [μ Ci/ml]
2001	Ene-01	2,83	2,09
		2,79	2,126
		2,716	2
	Feb-01	2,5	2,2
		2,4	2,19
		2,36	2,321
	Mar-01	2,4	2,35
		2,42	2,305
		2,14	2,2
	Abr-01	2,14	2,13
		2,13	1,84
		2,13	2,11
	May-01	2,06	2,07
		2,03	1,96
	Jun-01	2,11	2,03
		2,3	2,1
		2,46	2,18
	Jul-01	2,65	2,16
		2,62	2,12
		2,6	2,22
	Ago-01	2,69	2,33
		2,76	2,36

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2002

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [$\mu\text{Ci/ml}$]	TG2 [$\mu\text{Ci/ml}$]
2002	Ene-02	2,97	2,26
		3,1	2,57
		3,38	2,46
	Feb-02	3,08	2,65
		2,92	2,68
	Mar-02	2,96	2,78
		3,14	2,72
		3,08	2,82
	Abr-02	3,388	3,426
		3,06	2,98
	May-02	2,93	2,81
		3,06	2,86
3,72		2,9	
Jun-02	3,14	2,936	
	2,73	2,76	
Jul-02			
Ago-02	2,92	2,92	
	3,22	2,98	
Sep-02	3,7	3,9	
	3,6	3,02	
Oct-02	3,18	3,13	
	3,05	3,22	
Nov-02	3,71	3,36	
	3,12	3,45	
	3,16	3,24	
Dic-02	3,07	3,2	
	3,07	3,1	
	3,05	3,06	

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2003

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [μ Ci/ml]	TG2 [μ Ci/ml]
2003	Ene-03	3,17	2,94
		3,18	2,81
		3,06	2,77
	Feb-03	3,5	3,02
	Mar-03	3,52	3,13
		3,51	3,17
	Abr-03	3,5	3,24
	May-03	3,86	3,3
		3,36	3,57
		3,59	3,24
Jun-03	3,55	2,49	
	4,43	3,41	
Jul-03	3,56	3,06	
	3,17	3	
	3,6	3,15	
Ago-03			
Sep-03	3,68	3,2	
	3,63	3,45	
	3,22	3,3	
Oct-03			
Nov-03	3,6	3,24	
	3,76	2,86	
	2,67	4,48	
Dic-03	3,1	3,16	
	4,4	3,36	

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2004

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [$\mu\text{Ci/ml}$]	TG2 [$\mu\text{Ci/ml}$]
2004	Ene-04	4,02	4,01
		3,81	3,73
		4,06	3,66
	Feb-04	5,2	5,31
	Mar-04	6,07	5,07
		4,44	3,91
		4,6	3,88
	Abr-04	4,27	3,94
		3,96	3,69
		4,71	3,9
	May-04	4,4	3,59
4,41		3,67	
4,33		3,43	
Jun-04	4,29	3,77	
	4,32	3,91	
	4,4	3,92	
Jul-04	4,38	3,73	
	4,39	3,82	
	4,41	3,84	
Ago-04	4,59	4,33	
	4,49	3,71	
Sep-04	4,61	4,25	
	4,55	4,01	
Oct-04	4,53	4,14	
	4,82	4,55	
	4,4	3,93	
Nov-04	3,76	3,13	
	4,42	3,21	
	4,39	3,1	
Dic-04	4,13	3,29	

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2005

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [$\mu\text{Ci/ml}$]	TG2 [$\mu\text{Ci/ml}$]
2005	Ene-05	3,91	3,39
		4,03	3,37
	Feb-05	3,84	3,35
	Mar-05	3,61	3,44
	Abr-05	3,64	3,71
	May-05	3,83	3,61
		3,86	3,86
		3,73	3,68
	Jun-05	3,93	3,64
		3,52	3,67
		3,72	3,46
	Jul-05	3,83	3,52
3,9		3,64	
3,8		3,66	
Ago-05	3,74	3,42	
	3,89	3,64	
	3,78	3,5	
Sep-05	3,67	3,57	
	3,8	3,64	
Oct-05	3,64	3,45	
Nov-05	4,15	3,99	
Dic-05	3,97	3,88	
	4,7	4,5	
	4,45	4,5	
	3,66	3,46	

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2006

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [μ Ci/ml]	TG2 [μ Ci/ml]
2006	Ene-06	3,75	3,3
		4,47	3,98
		4,1	4
	Feb-06	4,26	3,58
	Mar-06	4,22	3,12
		3,64	3,06
		5,32	3,04
	Abr-06	3,6	2,52
		3,36	3,11
		3,4	2,51
	May-06	3,54	2,87
		3,43	3,02
Jun-06	3,56	3,02	
	3,77	3,08	
	3,61	3	
Jul-06	3,64	3,06	
	3,49	3,26	
Ago-06	3,55	3,13	
	3,6	3,11	
	3,37	3,13	
	3,66	3,32	
Sep-06	3,75	3,44	
	4,02	3,77	
Oct-06	3,77	3,59	
	3,62	3,2	
Nov-06	3,03	3,03	
	3,58	3,44	
	3,46	3,45	
Dic-06	3,7	3,47	
	3,45	3,47	
	2,81	3,3	

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2007

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [μ Ci/ml]	TG2 [μ Ci/ml]
2007	Ene-07	3,51	3,31
		3,5	3,57
		3,49	3,46
	Feb-07	3,43	3,33
		3,31	3,25
		3,31	3,25
	Mar-07	3,28	3,17
		2,63	2,49
	Abr-07	2,78	2,51
		2,81	2,62
		2,46	2,48
	May-07	2,37	2,55
		2,6	2,25
	Jun-07	1,6	1,42
		1,41	1,4
		2,4	2,19
	Jul-07	2,8	2,46
		2,69	2,45
		2,78	2,46
	Ago-07	2,55	2,25
		2,52	2,48
		2,71	2,53
		2,72	2,61
	Sep-07	2,88	2,52
		2,67	2,35
		2,38	2,48
	Oct-07	2,34	2,42
		2,73	2,4
		2,38	2,41
	Nov-07	2,74	2,55
		2,55	2,46
		2,81	2,55
		2,78	2,53
	Dic-07	2,65	2,38
		2,36	2,31
2,95		2,37	

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2008

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [μ Ci/ml]	TG2 [μ Ci/ml]
2008	Ene-08	2,67	2,35
		2,56	2,36
	Feb-08	2,49	2,35
		2,55	2,15
		2,27	2,13
	Mar-08	2,47	2,17
		2,46	2,44
	Abr-08	2,13	2,11
		1,98	1,89
	May-08	2	1,93
		2,03	2,01
		2,1	2
1,89		1,82	
Jun-08	1,91	2,02	
	1,8	1,65	
	1,83	1,8	
Jul-08	2,03	1,93	
	2,16	2,07	
	2,06	1,96	
	2,2	1,99	
Ago-08	2,06	1,94	
	2,03	1,95	
	1,93	1,87	
	1,73	2,03	
Sep-08	1,8	2,32	
	2,18	2,08	
	2,13	2,03	
	2,14	2,02	
Oct-08	2,22	2,38	
	1,9	1,86	
	2,2	2,13	
	2,2	2,11	
Nov-08	2,13	1,75	
	1,97	2,03	
	2,02	1,97	
Dic-08	1,98	2	
	1,96	1,97	

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2009

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [$\mu\text{Ci/ml}$]	TG2 [$\mu\text{Ci/ml}$]
2009	Ene-09	1,98	1,96
		2,67	2,47
		1,83	1,93
		1,15	1,16
	Feb-09	1,15	1,16
		1,93	1,96
		2,04	1,96
		2,06	2,02
	Mar-09	2,02	1,94
		1,99	1,98
		2	1,94
	Abr-09	1,93	1,92
		1,96	2,04
		2,04	1,89
		2,05	1,93
	May-09	1,96	1,96
		2,03	1,91
		1,96	1,91
	Jun-09	2,04	1,96
		2,09	2,04
		2,06	1,99
		2,07	2,07
	Jul-09	2,07	2
		2,11	1,98
		2,04	1,99
		1,99	1,96
	Ago-09	2,06	1,97
		2,08	2,01
		1,96	2
		1,84	2,07
	Sep-09	2,09	1,98
		2,08	2,08
	Oct-09	2,08	2,08
		2,5	1,99
	Nov-09	2,1	1,88
	Dic-09		

ANEXO II

Tabla 1 - Actividad debida al tritio en piletas TG1 y TG2 – año 2010

Año	Meses	Actividad debida a Tritio	
		TG1 [μ Ci/ml]	TG2 [μ Ci/ml]
2010	Ene-10	1,96	1,86
	Feb-10	2,02	1,96
		1,99	1,93
	Mar-10	1,88	1,63
		1,9	1,57
	Abr-10	1,68	1,63
1,74		1,64	
May-10	1,69	1,61	
	1,69	1,58	
Jun-10	1,72	1,6	
	1,69	1,96	
	1,8	1,67	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2001

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2001	Ene-01	0	
	Feb-01	0	
	Mar-01	62	62
	Abr-01	0	
	May-01	0	
	Jun-01	4	
	Jul-01	23	
	Ago-01	24	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2002

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2002	Ene-02	24	
	Feb-02	19	
	Mar-02	24	
	Abr-02	19	
	May-02	5	
	Jun-02	0	
	Jul-02	0	
	Ago-02	0	
	Sep-02	41	41
	Oct-02	41	41
	Nov-02	0	
	Dic-02	3	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2003

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2003	Ene-03	0	
	Feb-03	0	
	Mar-03	1	
	Abr-03	26	
	May-03	14	
	Jun-03	20	
	Jul-03	24	
	Ago-03	24	
	Sep-03	21	
	Oct-03	21	
	Nov-03	23	
	Dic-03	13	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2004

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2004	Ene-04	24	
	Feb-04	21	
	Mar-04	19	
	Abr-04	23	
	May-04	20	
	Jun-04	21	
	Jul-04	21	
	Ago-04	16	
	Sep-04	20	
	Oct-04	23	
	Nov-04	23	
	Dic-04	29	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2005

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2005	Ene-05	21	
	Feb-05	63	
	Mar-05	0	52
	Abr-05	11	
	May-05	24	
	Jun-05	22	
	Jul-05	16	
	Ago-05	16	
	Sep-05	16	
	Oct-05	19	
	Nov-05	18	
	Dic-05	24	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2006

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2006	Ene-06	23	
	Feb-06	20	
	Mar-06	21	
	Abr-06	14	
	May-06	23	
	Jun-06	17	
	Jul-06	21	
	Ago-06	21	
	Sep-06	17	
	Oct-06	0	
	Nov-06	0	
	Dic-06	11	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2007

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2007	Ene-07	21	
	Feb-07	19	
	Mar-07	13	
	Abr-07	21	
	May-07	17	
	Jun-07	21	
	Jul-07	21	
	Ago-07	21	
	Sep-07	19	
	Oct-07	21	
	Nov-07	22	
	Dic-07	20	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2008

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2008	Ene-08	21	
	Feb-08	18	
	Mar-08	5	
	Abr-08	5	
	May-08	22	
	Jun-08	19	
	Jul-08	21	
	Ago-08	22	
	Sep-08	20	
	Oct-08	21	
	Nov-08	22	
	Dic-08	21	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2009

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2009	Ene-09	28	
	Feb-09	14	
	Mar-09	22	
	Abr-09	13	
	May-09	23	
	Jun-09	20	
	Jul-09	22	
	Ago-09	22	
	Sep-09	22	
	Oct-09	0	
	Nov-09	5	
	Dic-09	25	

ANEXO II

Tabla 2 – EC y canales refrigerantes ingresados a piletas TG1 y TG2 –año 2010

Año	Meses	EC ingresados a piletas	Canales ingresados a piletas
2010	Ene-10	21	
	Feb-10	22	
	Mar-10	19	
	Abr-10	21	
	May-10	21	
	Jun-10	21	

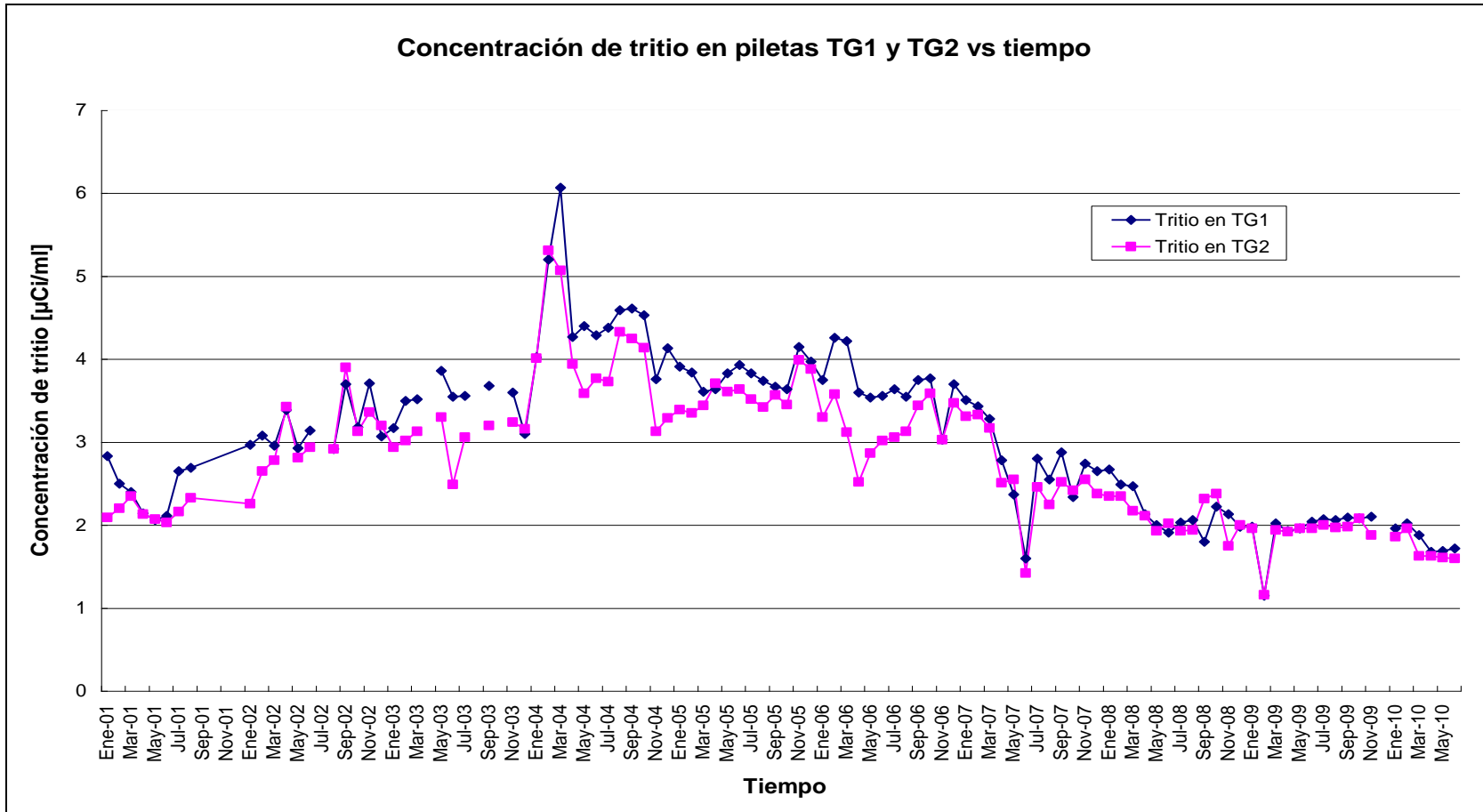


Fig. 1 – Concentración de tritio en piletas TG1 y TG2 vs. Tiempo

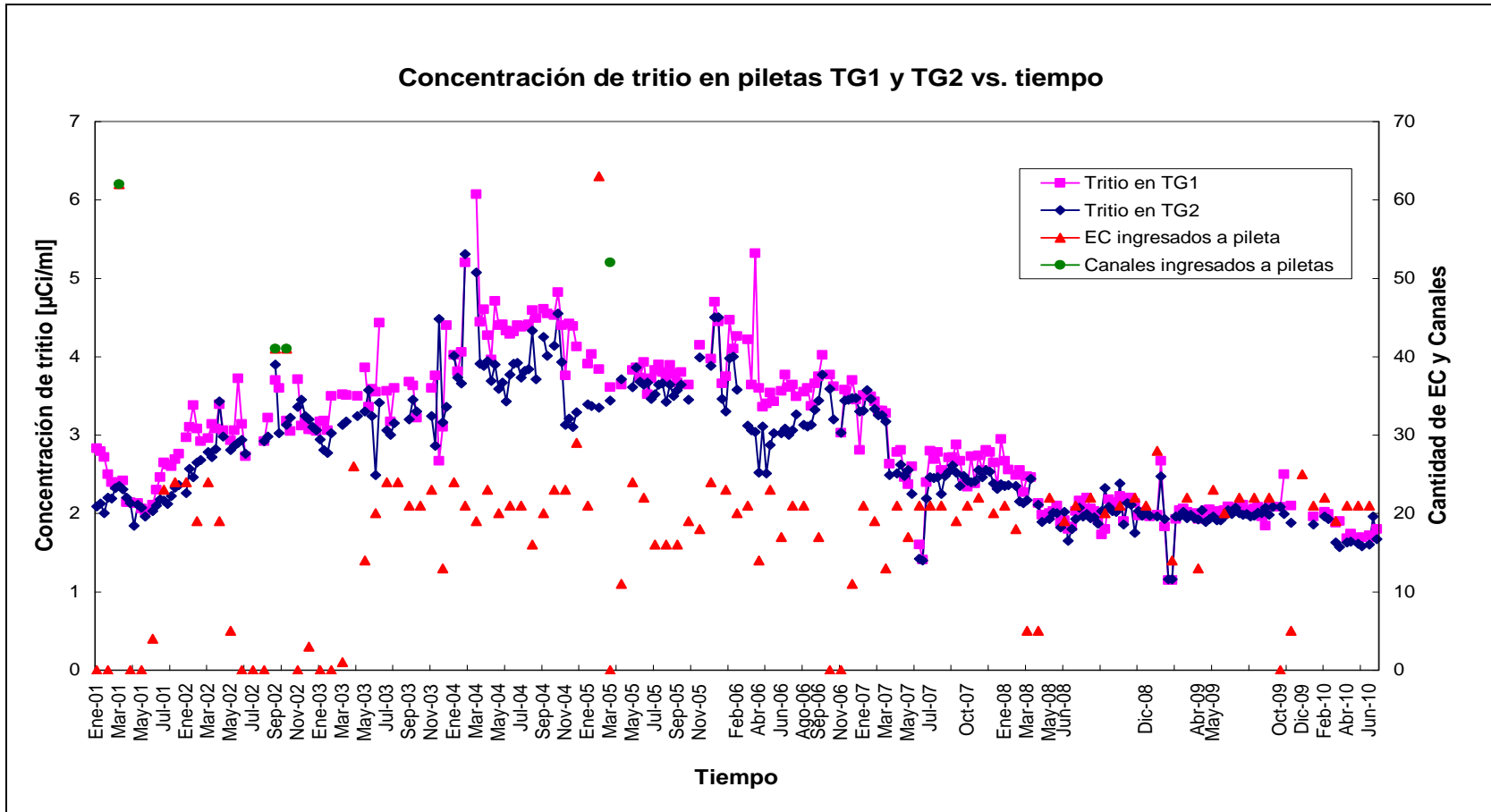


Fig. 2 – Concentración de tritio, cantidad de EC y canales refrigerantes ingresados en piletas

Tabla 3 - Recambio de H₂O en piletas de EC

Año	Fecha	Recambio de H₂O [m³]
1999	May-99	550
2000	May-00	570
	Ago-00	100
2001	Ago-01	20
	Nov-01	110
2003	May-03	500
2004	Oct-04	800
2007	Mar-07	1206
2008	Mar-08	510
	Abr-08	740
	Nov-08	480
2010	Feb-10	475
	Mar-10	200

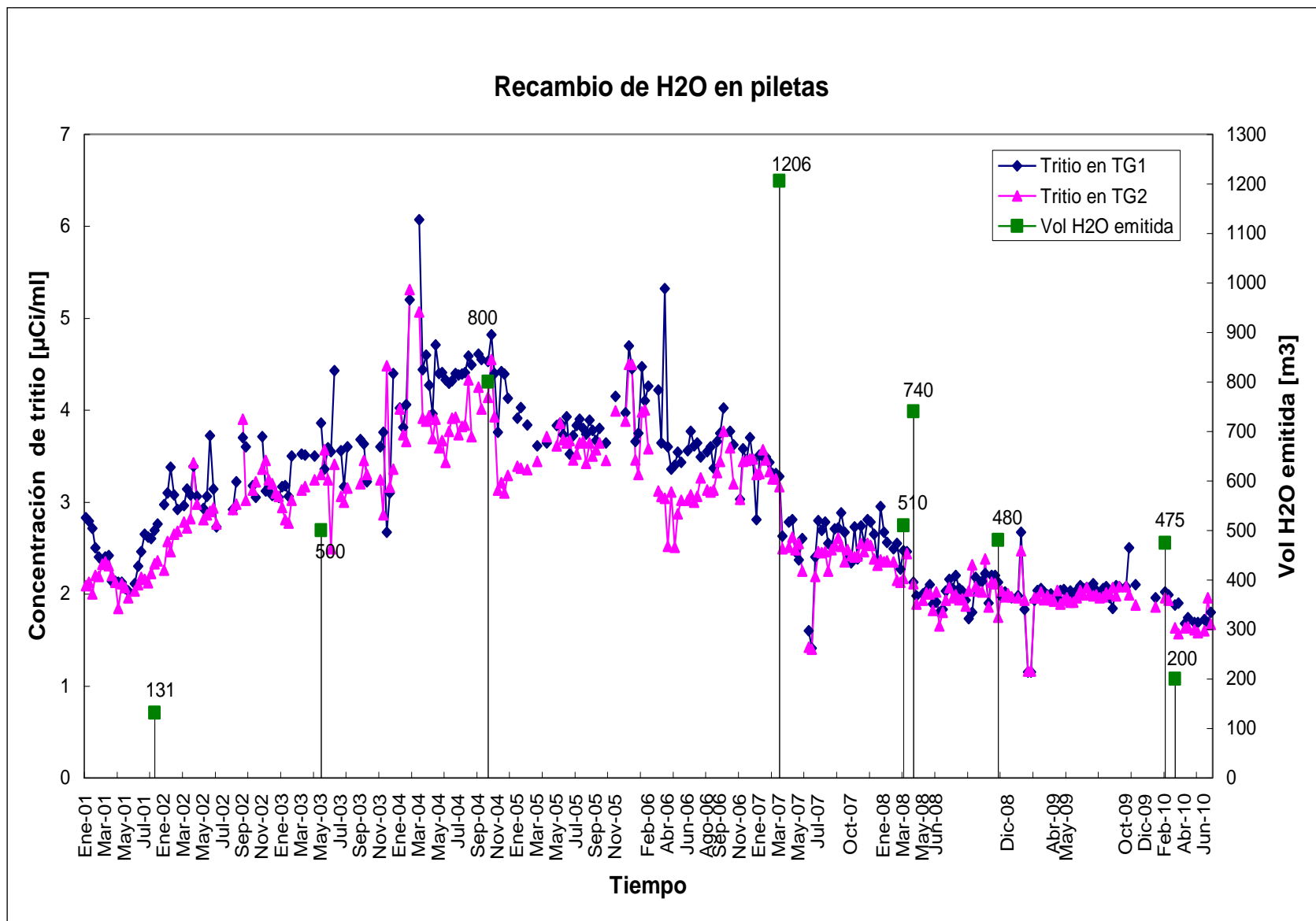
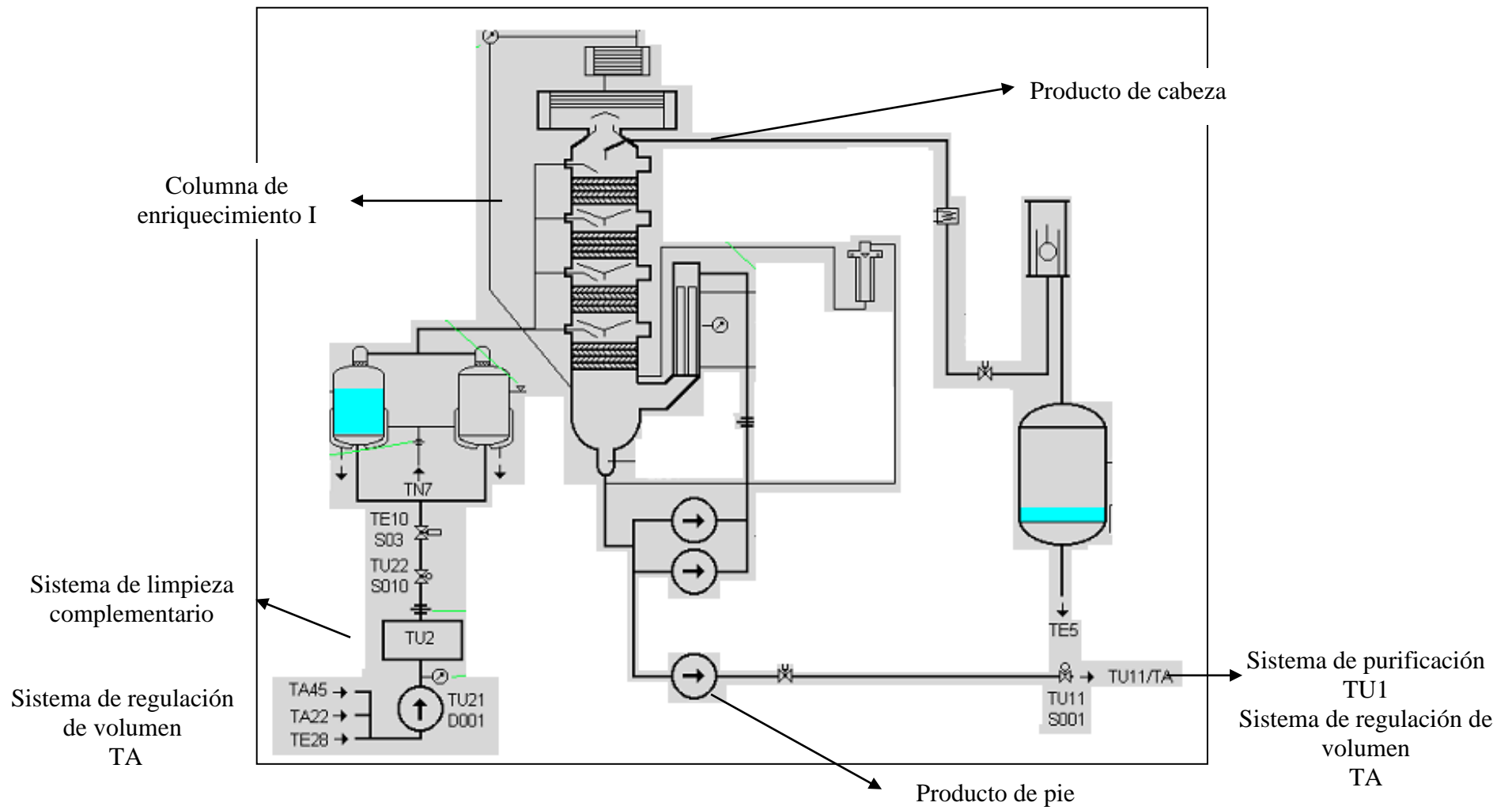
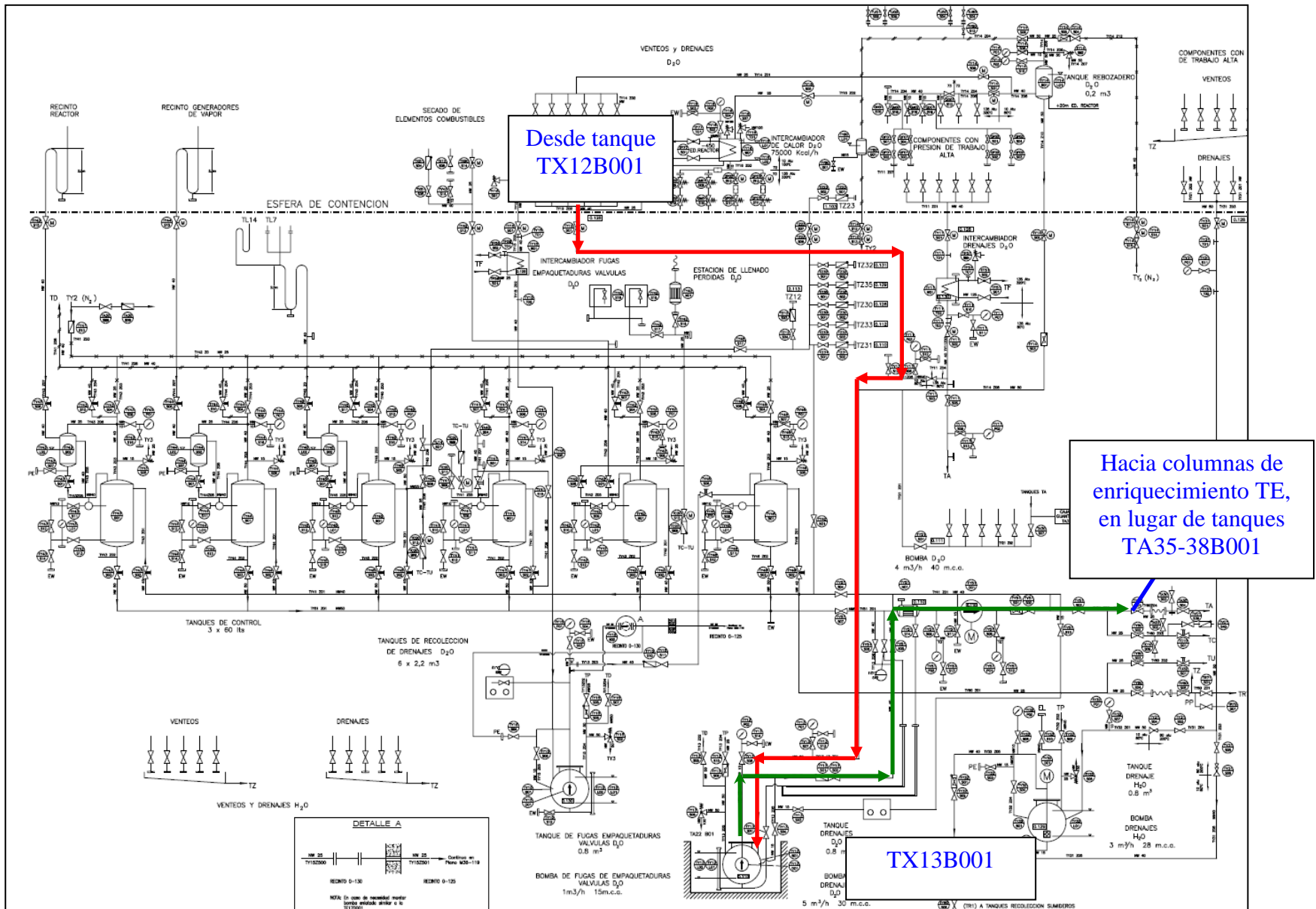


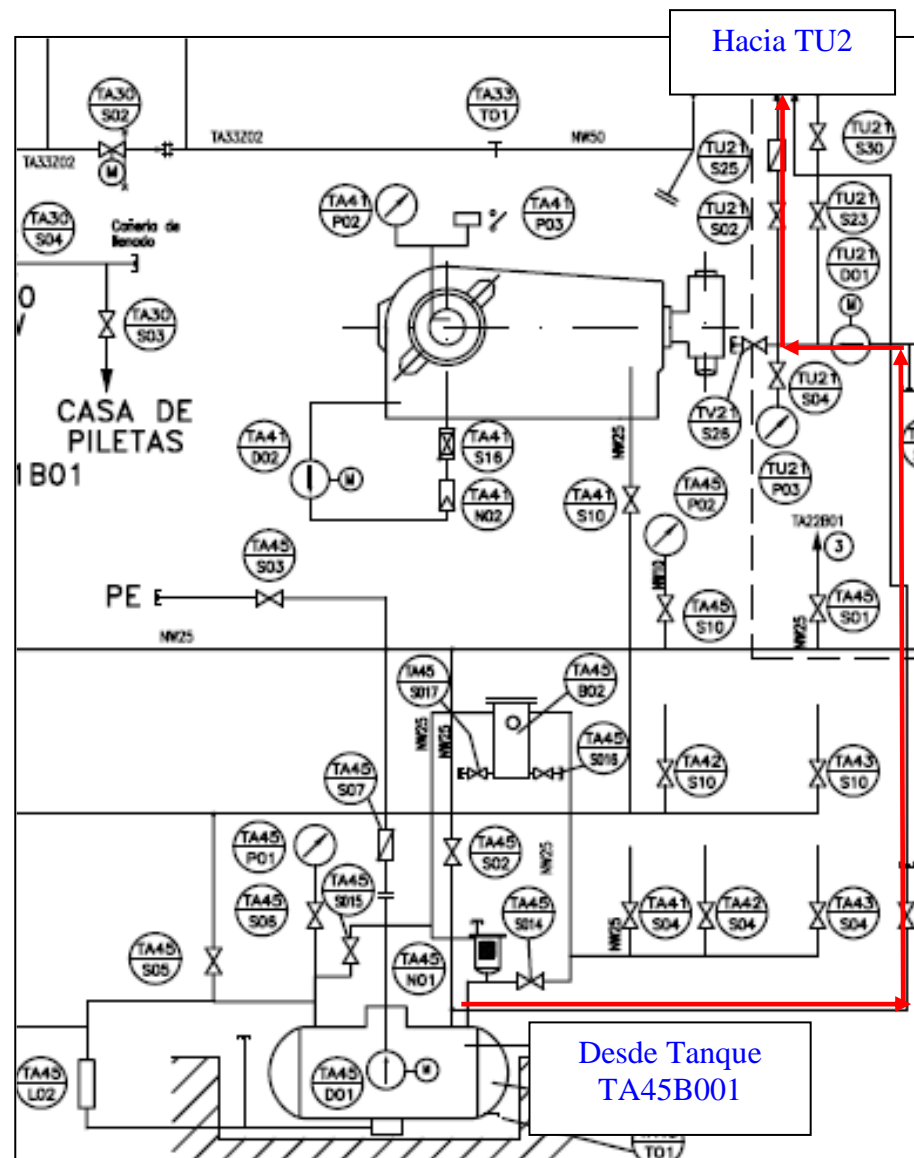
Fig. 3 - Recambio de H₂O en piletas vs. Tiempo



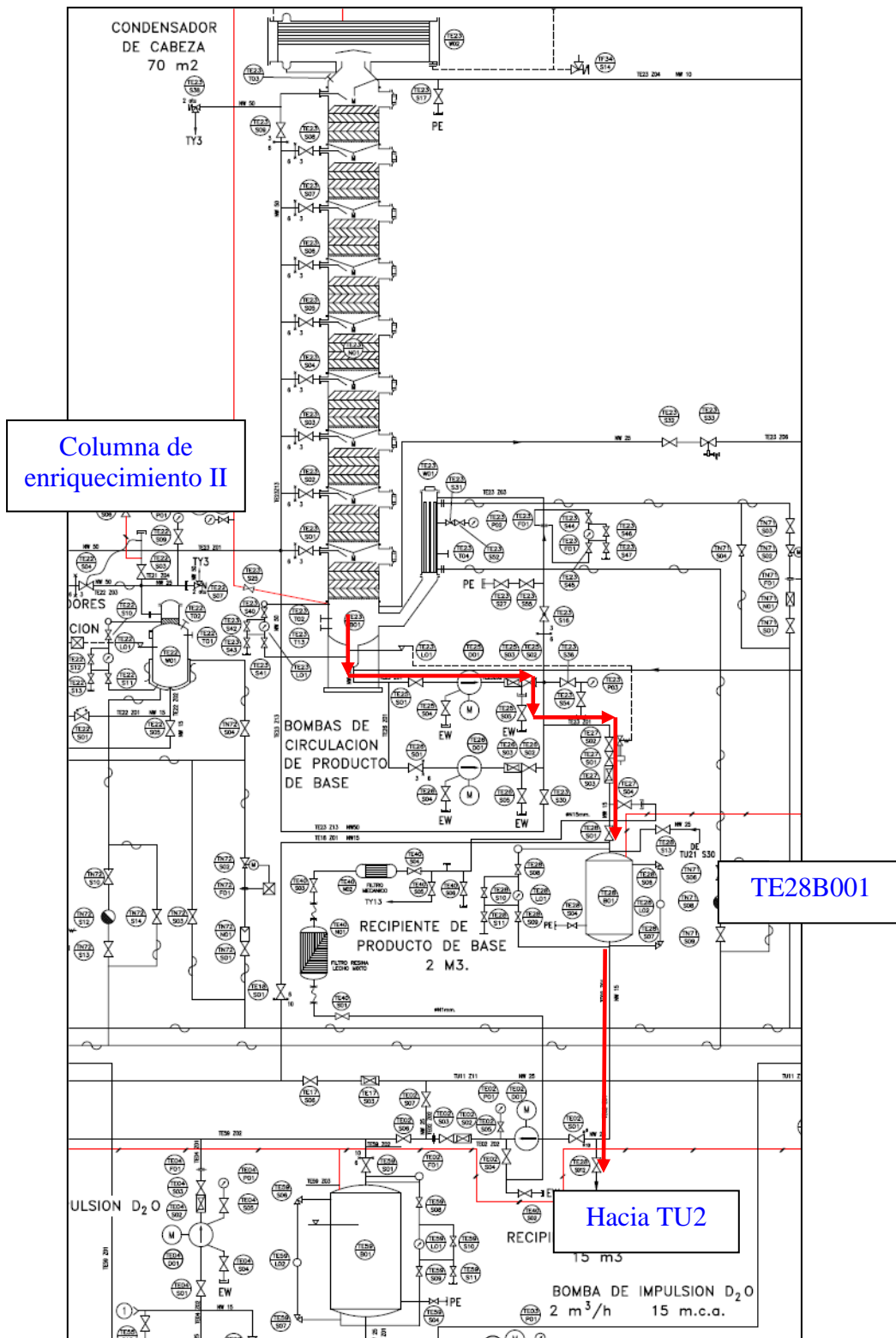
Esquema 5
Columna de enriquecimiento (TE I)



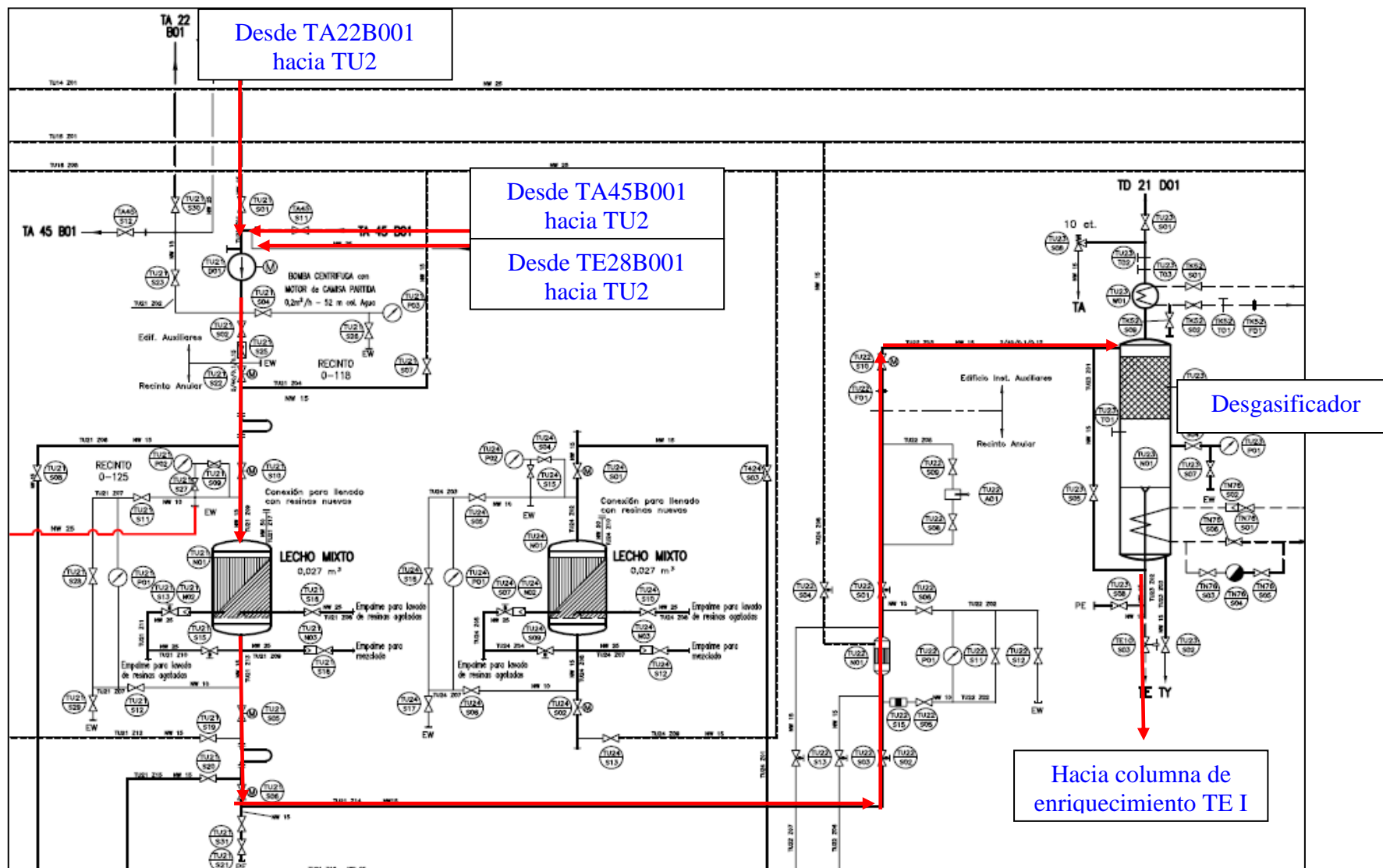
Esquema 6 - Alternativa 1



Esquema 7 - Alternativa 2



Esquema 8 - Alternativa 3



Esquema 9