

GUÍA PARA ESTABLECER UN PLAN DE MUESTREO DE LOS DATOS PARA LA PLANEACIÓN DE VERIFICACIONES DE GEI y APLICACION DE LA MATERIALIDAD

INDICE

1. Contexto Regulatorio en México	2
a. Plan de muestreo.....	2
b. Materialidad	2
2. Significado y Relevancia del Muestreo en el Plan de Verificación.....	3
3. Qué es el muestreo.....	4
4. Muestreo estadístico y no estadístico:	6
a. Muestreo no estadístico:	6
b. Muestreo estadístico:	6
c. Selección de muestras:	7
5. Factores que afectan el tamaño de la muestra:	8
a. Comprobación de las actividades de control y los procedimientos asociados:	8
b. Factores a considerar para el muestreo de datos:	10
6. Tamaño de la muestra en pruebas de controles:	10
7. Tamaño de la muestra para el muestreo de datos:	12
a. Empleo con los diferentes enfoques de selección de la muestra:	14
b. Cálculo del tamaño de la muestra para diferentes poblaciones:	14
8. Cálculo de la materialidad:	16
EJEMPLOS:.....	19
1. Comprobación de actividades de control:.....	19
2. Muestreo de Datos:	24
3. Materialidad	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Planes de muestreo simple tabulados por la materialidad. Fuente: elaboración propia, basado en tabla A de ISO 28059-2.....	12
Tabla 2: Tamaño de muestra para diferentes poblaciones.....	15
Tabla 3: Etapas en la comprobación de una muestra. Fuente: traducción de 'AVR Key guidance note No. II.4'	16
Tabla 4: Aplicación de la materialidad. Fuente: elaboración propia a partir de la Guía del CDM 'Guideline Application of materiality in verifications'.	18

1. Contexto Regulatorio en México

a. Plan de muestreo

La importancia del plan de muestreo dentro del análisis de riesgos y la necesidad de considerar un plan de muestreo como parte del proceso de verificación, viene reflejada en la Regulación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) – Dirección General de Políticas para el Cambio Climático – dentro de los “Criterios para la verificación de los reportes de Emisiones de Compuestos y GEI en el marco del Registro Nacional de Emisiones (RENE)”. En concreto, este documento recoge en los siguientes numerales la necesidad de incluir un plan de muestreo en el plan de verificación y la posibilidad de emplear un muestreo estadístico:

5.5.4 El Plan de verificación deberá incluir un Plan de Muestreo diseñado para conducir la verificación bajo un nivel de aseguramiento razonable. El plan de muestreo deberá elaborarse con base en la evaluación cualitativa y cuantitativa de los siguientes riesgos:

- *Riesgo inherente: riesgo de que se produzcan errores, extravíos o desviaciones atribuibles al manejo de información del establecimiento.*
- *Riesgo de control: riesgo de que el sistema de control interno del establecimiento no pueda prevenir, detectar y/o corregir errores.*
- *Riesgo de detección: riesgo de que los procedimientos del verificador no detecten errores.*

El plan de muestreo debe llevarse a cabo tanto para controles como para datos.

5.5.5 El muestreo estadístico podrá realizarse como complemento a la evaluación de riesgos cuando se considere necesario.

Estos requisitos se recogen en el Anexo 2 de estos criterios: “Contenido del Plan de Verificación” en el Apartado 8: “Plan de Muestreo”. Aquí se debe reflejar el análisis de riesgos como paso previo para justificar la necesidad de muestreo, para posteriormente, justificando el nivel de aseguramiento razonable del 95%, determinar la muestra. Para ello, el Anexo 2, recomienda una serie de métodos estadísticos a elección del verificador: i. Muestreo aleatorio simple, ii. Distribución T de Student, iii. Distribución X², iv. Distribución F de Fisher, v. NMX-Z-12/2-SCFI Muestreo para la inspección por atributos.

b. Materialidad

La definición de materialidad, así como su aplicación en la verificación de reportes de GEI, vienen igualmente recogidos en la regulación anterior: “Criterios para la verificación de los reportes de Emisiones de Compuestos y GEI en el marco del Registro Nacional de Emisiones (RENE)”. En concreto, se define:

Materialidad: *concepto o valor definido por la SEMARNAT para las verificaciones del RENE basado en que los errores individuales o agregados, omisiones o interpretaciones erróneas pudiesen afectar el cálculo de las emisiones de GEI, así como influenciar las decisiones tomadas con base en esa información.*

Posteriormente se regula el valor de la materialidad y su cálculo en los numerales 5.3.4 y 5.3.5:

5.3.4 *Para efectos del presente, la materialidad permitida es de 5%. La materialidad será en referencia a los errores asociados a cada fuente de emisión para el establecimiento de no conformidades y a la suma de los errores individuales para determinar la naturaleza positiva o adversa del Dictamen de verificación.*

5.3.5 *La materialidad será expresada con dos decimales y deberá estimarse en relación al reporte de CyGEI y a las correcciones efectuadas, de ser el caso. Es decir, se deberá estimar la materialidad del reporte original y del reporte corregido. Asimismo, las No conformidades mayores deberán ser resueltas de manera satisfactoria para la obtención de un Dictamen de verificación positivo.*

Por otro lado, en las definiciones de ‘emisiones corregidas’, ‘no conformidades mayores’ y ‘no conformidades menores’, se establece que el umbral de materialidad define la calificación de las no conformidades, mayores o menores, y la consideración para la corrección de las emisiones reportadas. Esto se regula en los numerales 5.10.1 y 5.10.2, sobre el Dictamen de verificación’. Donde se establece que la no corrección de las no conformidades mayores, o su corrección no satisfactoria, da lugar a un dictamen de verificación adverso.

Teniendo en cuenta la regulación sobre materialidad en México, el verificador debe calcular el error acumulado debido a todas las no conformidades detectadas y compararlo con el umbral de materialidad para decidir sobre el dictamen de verificación. Así mismo, se debe calcular el error aportado por cada no conformidad individual para calificarla como no conformidad mayor o menor.

La presente guía pretende servir de apoyo al verificador para el cumplimiento de estos requisitos.

2. Significado y Relevancia del Muestreo en el Plan de Verificación

Después de evaluar los riesgos inherentes y de control, y establecer el riesgo de detección, el siguiente paso importante según el numeral 5.5.4 (Criterios para la verificación de los reportes de Emisiones de Compuestos y GEI en el marco del RENE), es establecer un plan de muestreo, que le serviría al verificador para comprobar la implementación de las actividades de control de la entidad sujeta a reporte (ESR), así como para comprobar la verosimilitud, integridad y corrección de los datos comunicados. Sobre la base del análisis de riesgos, el verificador podrá utilizar el muestreo para comprobar las actividades y procedimientos de control y realizar pruebas de datos sustantivos (Ver apartado 8 del Anexo 2, Plan de Verificación).

Como se indica en los Criterios RENE y en el Anexo 2, el enfoque básico es que el verificador evalúe los riesgos inherentes (RI) y los riesgos de control (RC), y sobre la base de esta evaluación determine la naturaleza, el momento y el alcance de las actividades de verificación que deben realizarse para reducir el riesgo de que no se detecten errores materiales. Este riesgo de detección (RD) debe ser lo suficientemente bajo para permitir al verificador concluir con garantía razonable que el informe de la ESR está libre de errores materiales. El muestreo es una de las actividades de verificación que se ve afectada por esta evaluación de riesgos. Dependiendo del análisis del verificador sobre el nivel de riesgos inherentes y de control, se determinará si el muestreo está justificado y se establecerá el plan de muestreo (qué muestras debe tomar, cuál debe ser el tamaño de la muestra y el enfoque de selección, y qué tipos de pruebas u otros controles debe realizar en cada muestra).

El verificador no puede controlar el riesgo potencial de una declaración con errores materiales únicamente confiando en las medidas de mitigación de los riesgos inherentes y de control. La única opción disponible para el verificador es aplicar las actividades de verificación necesarias para detectar declaraciones erróneas y requerir a la ESR que corrija los errores identificados. Cuanto mayor sea el riesgo potencial de errores materiales, como resultado del análisis de riesgos, más amplio debe ser el número de actividades de verificación (pruebas, muestreo)

porque sólo mediante la aplicación de más pruebas el verificador detectará esas declaraciones erróneas.

El riesgo de detección que "resulta" del análisis de riesgos (Ver la GUÍA PARA DESARROLLAR UN ANALISIS DE RIESGO PARA VERIFICADORES) determina la decisión del verificador sobre la necesidad del muestreo y el plan necesario en su caso. Por lo tanto, si el riesgo inherente y/o el riesgo de control son bajos (bajo riesgo de error material), el verificador está en condiciones de aceptar un mayor riesgo de detección, que requiere un muestreo menos intenso. Sin embargo, si la combinación de riesgos inherentes y de control es alta (alto riesgo de error material), el verificador debe conservar un riesgo de detección bajo para asegurarse de que detectará las declaraciones erróneas tanto como sea posible.

Por tanto, sobre la base de su análisis de riesgos, y teniendo en cuenta un nivel de materialidad del 5%¹, el verificador puede comenzar a diseñar el plan de muestreo, incluyendo la frecuencia de los elementos a muestrear y el tamaño de la muestra que se incluirá en el plan de verificación.

Se debe tener en cuenta que el nivel de materialidad no significa que se pueda ignorar un error no material. De hecho, todos los errores identificados deben corregirse. Si estos errores no se corrigen y/o no pueden corregirse en el momento en que se emite el informe de verificación, el verificador debe considerar su materialidad en el informe final.

En la presente guía se detallan dos enfoques para hacer el muestreo. En un caso nos centramos en el análisis de atributos, esto es comprobar si un número elevado de actividades de control están funcionando correctamente o no. Este sería un análisis cualitativo para determinar si se cumple o no se cumple con los requerimientos, lo que se asemeja al análisis por lotes definido en la norma internacional *ISO 2859: Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos*. Por otro lado, tenemos el caso del análisis de una serie elevada de datos numéricos para determinar si existe algún error en algún dato. Estaríamos ante un análisis cuantitativo para determinar si una variable usada en los cálculos es correcta o tiene algún error y cuantificar dicho error. En este caso presentaremos el análisis estadístico probabilístico basado en la fórmula de Cochran.

En ambos casos se adapta la metodología presentada (norma ISO 2859 o teoría de Cochran) al caso de la verificación, donde no se está exactamente aceptando o rechazando lotes de productos (norma ISO 2859) o determinando el valor de una variable obtenida por métodos estadísticos (fórmula de Cochran). Esa adaptación requiere el juicio profesional del verificador para decidir en cada caso, y a la vista del análisis de riesgos, como aplicar cada una de las metodologías. Por lo tanto, aunque en la presente guía se adapta cada una de las dos metodologías a situaciones diferentes, esto no es exclusivo y para nuestro caso específico de verificación, tanto la norma ISO 2859 como la teoría de Cochran, se pueden aplicar indistintamente al análisis de las actividades de control o al de una serie de datos numéricos. Será decisión del verificador aplicar uno u otro, siguiendo las recomendaciones de esta guía, para obtener el tamaño de la muestra.

3. Qué es el muestreo

El muestreo es la aplicación de un enfoque por el cual se comprueba y verifica un número menor de elementos en comparación con todos los elementos dentro de una población de datos y/o

¹ Numeral 5.3.4, 'Criterios para la verificación de los reportes de Emisiones de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero en el marco del Registro Nacional de Emisiones', SEMARNAT, 14/05/2018

actividades de control/procedimientos que están sujetos a verificación. Para las grandes instalaciones, el flujo de datos, la propia población de datos y las actividades y procedimientos de control implementados para mitigar los riesgos pueden ser considerables, y entonces no será (siempre) posible, eficaz o eficiente verificar todos y cada uno de los elementos.

Este muestreo se aplicará de manera que todos los elementos (por ejemplo: facturas, actividades de control, procedimientos u otros datos de origen primario) muestreados tengan la misma posibilidad de ser seleccionados. Esto es importante, porque el verificador debe estar lo suficientemente seguro de que los resultados son representativos para poder extrapolar las conclusiones sobre toda la población de una muestra.

Por lo tanto, el análisis de riesgos es clave para el verificador a la hora de decidir si el muestreo está justificado. Si los riesgos inherentes son elevados y/o existen riesgos significativos de declaraciones erróneas y no existen otros medios para reunir pruebas suficientes y apropiadas, excepto probando a toda la población de datos o actividades de control, es poco probable que se justifique el muestreo de un número limitado de datos/procedimientos de control: en ese caso, es necesario probar todo el conjunto de datos y/o todas las actividades de control. Además, cuando la población de datos es pequeña, por ejemplo, 12 facturas de combustible, puede ser más eficiente comprobar todos los registros.

Por otro lado, el verificador debe tener en cuenta que su decisión estará basada en el análisis de una muestra, pero esta decisión podría haber sido diferente si hubiera analizado toda la población con los mismos procedimientos de verificación que la muestra: subestimar este riesgo puede dar lugar a conclusiones erróneas. Por ejemplo, al probar las actividades de control, el verificador puede concluir erróneamente que las actividades de control son más eficaces de lo que realmente son. De manera similar, al llevar a cabo un muestreo de datos, el verificador puede concluir erróneamente que no hay posibilidad de errores materiales, los cuales podrían conducir, de manera individual o agregada, a una opinión de verificación inapropiada. Para mitigar estos riesgos, el verificador debe aumentar el tamaño de la muestra para que se pueda alcanzar el nivel de confianza requerido.

En vista de lo anterior, el verificador debe considerar algunos principios clave con respecto al muestreo:

- el muestreo debe justificarse sobre la base del análisis de riesgos y debe detallarse en el plan de verificación;
- el enfoque de muestreo y el tamaño de la muestra deben estar plenamente documentados en el plan de verificación, y deben indicarse junto con el resultado del muestreo en la documentación de verificación interna;
- el muestreo debe ser específico para la ESR;
- no se permite tomar muestras del universo de datos de varias instalaciones o combinar datos de varios sitios;
- el muestreo debe ser representativo de la población total de las actividades de control, los procedimientos o los datos seleccionados;
- el muestreo debe configurarse de manera que, a lo largo de una serie de ciclos de verificación, todos los flujos de datos y fuentes de emisión se incluyan dentro de un enfoque detallado de pruebas de datos.

4. Muestreo estadístico y no estadístico:

El verificador tendrá la opción de elegir entre muestreo estadístico y no estadístico utilizando su criterio profesional. Esta elección entre lo estadístico y lo no estadístico a menudo se basa en una serie de consideraciones, como el número de secuencias de origen² y puntos de datos por secuencia de origen, la variación entre esos puntos de datos y el grado en que la muestra permite una conclusión sobre toda la población de datos o actividades de control. El verificador utiliza su criterio profesional para evaluar factores como las características de los datos, las actividades de control o los procedimientos de control, y los riesgos en relación con estas características con el fin de determinar el tamaño adecuado de la muestra.

a. Muestreo no estadístico:

Cualquier procedimiento de muestreo que no permita la medición numérica del margen de error es un procedimiento de muestreo no estadístico, incluso si el verificador selecciona rigurosamente una muestra aleatoria.

Para muchas verificaciones, el enfoque no estadístico puede ser apropiado; p.ej. en el caso de las auditorías de sistemas, abordar cuestiones tales como "¿están las actividades de control instaladas, implementadas y mantenidas?", son importantes y relevantes. Esto también se puede aplicar al análisis de la naturaleza y la causa de los errores, así como su conclusión sobre la mera ausencia o presencia de errores. En este caso, el verificador elige un tamaño de muestra fijo de los elementos que se probarán para cada actividad de control, siempre que se aumente el tamaño de la muestra si se identifican errores. No obstante, el juicio profesional sigue siendo fundamental a la hora de determinar los factores pertinentes a tener en cuenta. Sin embargo, si se utiliza un enfoque no estadístico, los resultados del muestreo no permiten la extrapolación a toda la población.

b. Muestreo estadístico:

La norma internacional de auditoría (NIA ES 530) define el muestreo estadístico como el tipo de muestreo que presenta las siguientes características:

- a) Selección aleatoria de los elementos de la muestra; y
- b) aplicación de la teoría de la probabilidad para evaluar los resultados de la muestra, incluyendo la medición del riesgo de muestreo.

Es decir, el muestreo estadístico es aquel en el que la determinación del tamaño de la muestra, la selección de los elementos de la muestra y la evaluación de los resultados se llevan a cabo utilizando métodos matemáticos que se basan en modelos probabilísticos.

En el caso del muestreo estadístico, el verificador utilizará muestreo aleatorio, sistemático o estratificado, para seleccionar los elementos que se revisarán durante la verificación. Este muestreo proporciona un método objetivo para determinar el tamaño de la muestra y seleccionar los elementos que se van a examinar. Se debe tener en cuenta que técnicas de muestreo se utilizarán para ayudar al verificador a decidir sobre el número de errores aceptables en la muestra y su extrapolación a toda la población de datos.

Los métodos de muestreo para la verificación los podemos clasificar, según su enfoque estadístico, en métodos de estimación (muestreo de variables) y métodos de control (muestreo por atributos). En el primer caso se pretende caracterizar una propiedad (la exactitud de una

² Aquí se entiende por 'secuencias de origen', los lugares donde se originan los datos que necesitamos muestrear. Por ejemplo un medidor de flujo de un combustible o un contador de electricidad.

variable o factor usado en los cálculos) y la estimación se expresa por medio de un intervalo de confianza usando un modelo estadístico subyacente. En el segundo caso se pretende la aceptación/rechazo de una actividad de control, hay una intención de control, por lo que se requiere información explícita sobre los riesgos para la verificación.

Así podemos clasificar el muestreo estadístico que se aplica en auditoría en dos categorías básicas:

- **Muestreo de atributos:** Se aplica en poblaciones binomiales para las que los resultados pueden ser únicamente dos: cumple o no cumple. Sería útil en el caso de la revisión de las **actividades de control**. En este tipo de pruebas lo relevante no es calcular la desviación numérica sino determinar los elementos de la población que cumplen la característica concreta que se pretende medir; es decir, el porcentaje de ocurrencia de dicha característica. Normalmente se utiliza en pruebas diseñadas para validar la eficacia operativa de un control (por ejemplo, el mantenimiento y calibración según requisitos del fabricante y/o legislación nacional, de los sensores y los medidores/contadores, para validar si las lecturas obtenidas son fiables lo relevante será determinar si cumple o no cumple con los criterios de mantenimiento y calibración).
- **Muestreo de variables:** Se utiliza cuando el auditor pretende alcanzar conclusiones sobre una población en términos de valores numéricos; por ejemplo, quiere conocer cómo afectan a la cifra final de emisiones los errores en una determinada **serie de datos**. Este tipo de muestreo resulta útil cuando se utiliza para comprobar los datos obtenidos en un medidor o contador y su tratamiento para obtener la cifra de emisiones.

c. Selección de muestras:

Aparte de la distinción entre muestreo estadístico y no estadístico, el verificador también podrá elegir entre los siguientes enfoques para la selección de los elementos individuales en cada muestra:

1. Selección aleatoria simple – estadístico
2. Selección aleatoria sistemática – estadístico
3. Selección aleatoria estratificada – estadístico
4. Selección de muestras al azar – no estadístico
5. Selección por bloques (cluster) – estadístico/no estadístico
6. Selección multicapas – estadístico
7. Muestreo basado en el riesgo – no estadístico.

A continuación, se definen cada uno de los enfoques anteriores:

1. La selección aleatoria simple requiere siempre de una herramienta de selección que asegure que la selección de muestras es, de hecho, "al azar", es decir, independiente del juicio o preferencia del verificador. Esto es importante para garantizar que todos los elementos de la población tienen la misma oportunidad de ser elegidos.
2. En la selección sistemática de muestras se elige "aleatoriamente" un punto de partida y luego se aplica una regla sistemática para seleccionar otros elementos (p. ej. cada 20º elemento después del primer elemento inicial seleccionado al azar).
3. La selección aleatoria estratificada se utiliza cuando la población está dividida en estratos diferentes, con características y propiedades diferentes. En este caso se toma una muestra aleatoria simple o sistemática de cada estrato.
4. La selección al azar es una selección "falsa aleatoria" en el sentido de que un elemento individual es aparentemente seleccionado "aleatoriamente", pero de hecho puede

tener un sesgo sin medir en la selección (por ejemplo, elementos de fácil análisis, elementos de fácil acceso, elementos seleccionados de una lista que se muestra en una pantalla, etc.). Este método es siempre e inevitablemente sesgado, es decir, dependiendo del juicio profesional y/o preferencias del verificador, o dictado por la conveniencia u otros factores. Por regla general, se suele usar la raíz cuadrada del valor de la población total ($n = \sqrt{N}$), pero también se puede buscar una proporción que nos permita la revisión de la población total en sucesivas verificaciones anuales o semestrales. Así, tomando una muestra que sea un tercio de la población total, en tres verificaciones sucesivas habremos revisado el 100% de los datos o actividades de control. Este método es factible para poblaciones que no sean muy numerosas.

5. La selección por bloques o clústeres se da cuando la población está separada o dividida en diferentes localizaciones, en este caso el verificador puede seleccionar un número de clústeres de actividades de control o datos de forma no aleatoria – aplicando los enfoques 4 o 7 – o puede determinar los bloques a analizar estadísticamente. Los bloques o clústeres seleccionados se revisarán completamente.
6. En la selección multicapas se aplican los enfoques 1 o 2 y 5. Se trataría de una población dividida en diferentes localizaciones y en cada una el número de elementos es suficientemente alto como para no ser posible un análisis completo de toda la población en los bloques seleccionados. En este caso en cada uno de los bloques seleccionados se aplicaría un muestreo aleatorio simple o sistemático o estratificado.
7. El muestreo basado en el riesgo es una selección no estadística al azar (enfoque 4) que se basa en un análisis previo y en la experiencia del verificador. El verificador que utiliza este método selecciona un tamaño de la muestra en función del análisis de riesgos y el rendimiento/funcionamiento del aspecto concreto que se quiere evaluar. Esta selección se basa únicamente en la discreción del verificador, cualquiera que sea la justificación (por ejemplo, elementos con nombres similares o todas las operaciones relacionadas con una fuente de emisión o flujo de datos específico, etc.). El tamaño de la muestra puede cambiar en función de los resultados de la inspección.

5. Factores que afectan el tamaño de la muestra:

Al seleccionar una muestra para su verificación, se sugiere que el verificador tenga en cuenta los objetivos de la verificación y las características de las actividades de control y de la población de la que se extraerá la muestra. El tamaño de la muestra debe ser suficiente para permitir que:

- en el caso de muestreo de datos, se detectan todos los errores;
- en el caso de muestreo de actividades de control, las desviaciones no dan lugar a riesgos inaceptables para el cálculo de las emisiones.

Por lo tanto, el verificador podrá seleccionar la muestra de tal manera que sea representativa de la población o poblaciones que componen todo el universo de datos.

a. Comprobación de las actividades de control y los procedimientos asociados:

El análisis preliminar de riesgos basado en el análisis estratégico proporcionará al verificador una primera impresión de los riesgos inherentes y los riesgos de control y su magnitud probable (alta, media, baja).

Factor	Explicación																				
Riesgo inherente	Si los riesgos inherentes son altos, el tamaño de la muestra para probar las actividades de control y los procedimientos asociados debe ser mayor que cuando se identifica un riesgo bajo.																				
Entorno de control	Los riesgos de control están determinados en gran medida por el entorno de control del operador, es decir, la forma y el rigor con la que se abordan y mitigan los riesgos inherentes dentro de la instalación.																				
Actividades de control relevantes	<p>Cuando los riesgos inherentes y los riesgos de control son altos, el verificador tiene que aplicar actividades de verificación más detalladas y robustas y tiene que seleccionar una muestra más grande para reducir el riesgo de detección. La determinación del tamaño de la muestra para probar el sistema de control tal como se presenta en el plan de monitoreo, depende de la frecuencia de las pruebas de control interno y las actividades de control, y el número de elementos que deben ser controlados. La frecuencia de la actividad de control significa cuántas veces una actividad de control se está llevando a cabo. El número de elementos se refiere al número de puntos de datos y flujos de datos que están siendo controlados por las actividades de control, por ejemplo: cuántos instrumentos de medición se están utilizando, cuántos informes de calibración hay, cuántos documentos hay en el sistema de gestión de documentación, etc.</p> <p>Ejemplo</p> <p>La siguiente tabla proporciona un ejemplo de cómo la frecuencia de las actividades de control y el número de elementos en relación con los riesgos inherentes y de control pueden afectar al tamaño de la muestra – muestreo no estadístico (en combinación con el juicio profesional de los verificadores):</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Frecuencia (Tamaño de la población)</th> <th colspan="2">El tamaño mínimo de la muestra en el caso de riesgo inherente y de control combinado</th> </tr> <tr> <th>Alto</th> <th>Bajo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Chequeos trimestrales (4)</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Chequeos mensuales (12)</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Dos veces al mes (24)</td> <td>8</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Semanal (52)</td> <td>10</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>>52</td> <td colspan="2">La regla general es probar un tamaño de muestra que sea al menos el 10% de la población</td> </tr> </tbody> </table>	Frecuencia (Tamaño de la población)	El tamaño mínimo de la muestra en el caso de riesgo inherente y de control combinado		Alto	Bajo	Chequeos trimestrales (4)	2	2	Chequeos mensuales (12)	4	2	Dos veces al mes (24)	8	3	Semanal (52)	10	5	>52	La regla general es probar un tamaño de muestra que sea al menos el 10% de la población	
Frecuencia (Tamaño de la población)	El tamaño mínimo de la muestra en el caso de riesgo inherente y de control combinado																				
	Alto	Bajo																			
Chequeos trimestrales (4)	2	2																			
Chequeos mensuales (12)	4	2																			
Dos veces al mes (24)	8	3																			
Semanal (52)	10	5																			
>52	La regla general es probar un tamaño de muestra que sea al menos el 10% de la población																				
El requisito de emitir un dictamen de verificación con garantía razonable	Cuando el verificador identifique una declaración errónea o una no conformidad durante el muestreo, solicitará al titular que explique la causa o las causas raíz de esa declaración errónea o de la no conformidad. Sobre la base del resultado de esa evaluación, el verificador determinará si se necesitan actividades adicionales de verificación y si es necesario aumentar el tamaño de la muestra.																				

En el caso específico de los sistemas informáticos y las actividades de control automatizadas, el verificador puede adoptar la estrategia de probar uno o algunos de cada tipo de registros de datos en un momento dado, y probar así las actividades de control en general (por ejemplo, las actividades de control sobre la implementación y los cambios en los sistemas y programas, el acceso y la seguridad, y las operaciones informáticas) para proporcionar pruebas de que las actividades de control automatizado han estado funcionando eficazmente durante el período de monitoreo. Cuando se prueban y determinan que las actividades generales de control de TI son eficaces, una sola prueba de un procedimiento de tratamiento de datos automatizado para cada tipo de operación de control puede ser suficiente para confiar en la actividad de control automatizado durante el período de verificación.

Si se da el caso de que las pruebas de las actividades de control revelen que existen diferencias en la calidad y el funcionamiento de estas, en comparación con lo concluido en el análisis de riesgos, el verificador dispone de las siguientes opciones:

- Crear dos (o más) grupos. Por ejemplo: un primer grupo en el que el verificador tiene baja confianza y requiere un tamaño de muestra más alto, y un segundo grupo en el que el verificador está más seguro, por lo que requiere un tamaño de muestra más bajo.
- Considerar la confianza más baja a todo el conjunto de actividades de control y probar todas las actividades de control individualmente.

b. Factores a considerar para el muestreo de datos:

Factor	Explicación
Riesgos inherentes y riesgos de control	<p>Si se identifican debilidades importantes durante la comprobación de las actividades de control, el verificador concluirá que la confianza obtenida en esa actividad de control es baja y, por lo tanto, que el riesgo de error material es elevado. En ese caso, el verificador tomará una muestra más grande para obtener confianza suficiente en el dato declarado.</p> <p>Si no se encuentran debilidades importantes en las pruebas de las actividades de control, la confianza obtenida será alta, lo que significa que el verificador puede confiar en el sistema y, por lo tanto, apuntar a una muestra más pequeña.</p> <p>En ambos casos, el juicio profesional del verificador se aplica durante el muestreo para obtener la confianza suficiente de que se detectarán todas las posibles declaraciones erróneas.</p>
Los resultados de los procedimientos analíticos	<p>Las fluctuaciones y tendencias en los datos, las desviaciones de años anteriores, las brechas de datos, los valores atípicos, así como los datos inesperados sin explicación, requerirán una atención especial y afectarán al tamaño de la muestra.</p>
El requisito de emitir un dictamen de verificación con garantía razonable	<p>El muestreo y los resultados del muestreo deben permitir que el verificador proporcione una opinión con una garantía razonable, lo cual sugiere que se tienda a elegir un tamaño de muestra más alto en lugar de inferior.</p>
La materialidad de la contribución de un dato individual al conjunto de datos global.	<p>Como primer paso, el verificador identificará los conjuntos de datos que representan individualmente una cantidad significativa del total de emisiones notificadas. Por ejemplo: las fuentes de emisiones principales frente a fuentes menores, o aquellos conjuntos de datos que son significativos debido a su naturaleza. Estos se tratan por separado y el tamaño de cada muestra se toma en relación con la contribución y el riesgo evaluado.</p> <p>A partir de la población restante (por ejemplo, flujos de combustibles menores) habrá que realizar una comprobación suficiente para confirmar que las entradas y salidas de datos son razonables y tienen una base sólida.</p>

6. Tamaño de la muestra en pruebas de controles:

Se adoptará un procedimiento estándar de muestreo basado en la norma ISO 2859-2:2012 “Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. Parte 2: Planes de muestreo para las inspecciones de lotes independientes, tabulados según la calidad límite (CL)”, con algunos elementos adicionales. Este procedimiento es el que se sugiere para trabajos repetitivos en la verificación para ser usado por los auditores. Se utilizará en los casos que el verificador decida, en vista de los resultados del análisis de riesgos, seleccionar la muestra mediante muestreo estadístico. Una vez establecido el tamaño de la muestra, serviría cualquiera de los enfoques

vistos anteriormente ([selección de muestras](#)) para seleccionar los elementos concretos a comprobar. Las series de normas internacionales ISO 2859 están diseñadas para mantener el riesgo alrededor del 5%, utilizando esta norma se obtiene confianza suficiente de que se mantiene un nivel de aseguramiento razonable – 95% – con un riesgo de verificación del 5%³.

ISO 2859-2 fue concebida, entre otras cosas, para el caso de lotes aislados, que es el caso que nos encontramos cuando muestreamos elementos de control durante el proceso de verificación. Para ello proporciona planes de muestreo indexados por una serie de valores preferidos y organizados por el parámetro denominado "calidad límite" (CL). En nuestro caso, para la verificación de emisiones y para el muestreo de los elementos de control, podemos tomar la CL como el valor de materialidad especificado en la regulación, un 5%.

La norma ISO 2859-2 se ha diseñado con el fin de ser conforme a los planes de muestreo simple bajo inspección normal de la norma ISO 2859-1. Dentro de la norma ISO 2859-2 utilizaremos el procedimiento A, que se puede utilizar para lotes aislados, siendo este el caso de la verificación de los elementos de control.

La tabla 1 más abajo, está diseñada basándose en la tabla A de la norma ISO 2859-2 y nos proporciona el tamaño de la muestra (n) para una población determinada (Tamaño de lote) y con una materialidad (CL) del 5%. Si por las características del muestreo se definen otros valores para la materialidad, la tabla también incluye otras opciones. Así para una población de, por ejemplo, 60 elementos de control, habrá que tomar una muestra de 34 elementos si mantenemos una materialidad el 5%. En caso de disminuir este valor: por ejemplo, si tenemos dos flujos fuentes iguales podríamos tomar una materialidad del 2,5% para cada uno. En este caso la muestra para 60 elemento de control en cada flujo fuente sería de 48 elementos, extrapolando el valor entre 50 y 44.

Si el verificador utiliza este método estadístico, no se admitirá ninguna salvedad, error o desviación. El operador deberá solventar y corregir cualquier hallazgo durante el muestreo de manera satisfactoria. Cualquier hallazgo no solventado deberá reportarse como una no-conformidad y estimarse su materialidad. En el caso de un muestreo de actividades de control, se estimará el número de elementos defectuosos en toda la población para decidir sobre la materialidad. Siendo la proporción de elementos defectuosos: $p = a/n$. Donde a es el número de errores, salvedades o desviaciones encontradas y n el tamaño de la muestra. De tal forma que el número estimado de elementos defectuosos sería $p \times N$.

Teniendo en cuenta este valor, junto con el tipo de elemento de control encontrado defectuoso, los flujos controlados por los mismos y su importancia dentro del valor de las emisiones totales, se estimará la materialidad o no, de la no conformidad.

³ “Aplicación de las normas ISO 2859-1 e ISO 2859-2 en el control posicional de suministros de datos espaciales, aplicación al caso de puntos y líneas.” Página 33. (ver bibliografía)

Población	Materialidad estimada						
	0,5	1,25	2,5	5	7,5	10	20
16 a 25				25	19	16	9
26 a 50			50	28	23	19	10
51 a 90		90	48	34	26	21	10
91 a 150		90	70	38	28	23	13
151 a 280	200	130	82	42	31	25	20
281 a 500	280	155	95	50	35	32	20
501 a 1.200	380	170	125	80	55	42	32
1.201 a 3.200	430	200	168	125	88	67	50
3.201 a 10.000	450	315	200	200	138	105	80
10.001 a 35.000	500	315	315	315	220	167	125
35.001 a 150.000	800	500	500	500	346	264	125

Tabla 1: Planes de muestreo simple tabulados por la materialidad. Fuente: elaboración propia, basado en tabla A de ISO 28059-2

7. Tamaño de la muestra para el muestreo de datos:

En relativas ocasiones, el verificador debe evaluar un número elevado de datos utilizados en el cálculo de las emisiones finales. En el caso de la regulación aplicable al Sistema de Comercio de Emisiones para México (SCE), según el “ACUERDO que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero, SEMARNAT, 03/09/2015”, los factores de emisión, así como el poder calorífico de los combustibles se toman por defecto del citado Acuerdo y/o se publican anualmente por la SEMARNAT. Por lo tanto, el muestreo de datos se aplicará principalmente a la obtención del dato de actividad necesario, según el citado Acuerdo, para el cálculo de las emisiones de GEI.

Cuando se utilice un enfoque de muestreo estadístico para el cálculo del tamaño de la muestra, el verificador deberá tener en cuenta tres parámetros: el nivel de confianza, el intervalo de confianza y la probabilidad de error.

El nivel de confianza indica el grado de certeza que el verificador puede tener en la exactitud y fiabilidad del dato. Se expresa como un porcentaje y representa con cuánta frecuencia el porcentaje real de datos se encuentra dentro del intervalo de confianza. Un nivel de confianza del 95% quiere decir que se puede tener un 95% de probabilidad de exactitud. En nuestro caso el nivel de aseguramiento razonable es de un 95%, por lo que tomamos este valor como el nivel de confianza.

El intervalo de confianza o margen de error es la cifra que refleja una estimación de los límites de confianza de una proporción los cuales son dados por un recorrido o desviación \pm . Se puede expresar como el valor de la media de una medida dentro de una población \pm el margen de error. Este valor sería el error aceptable, el máximo error que se está dispuesto a aceptar, en el valor de la variable que se está determinando. Para la verificación de los datos para el cálculo de las emisiones de GEI, en nuestro caso principalmente el dato de actividad, estamos determinando el valor total de un flujo de combustible o materiales, a partir de un rango de datos obtenidos

mediante medición. El máximo error que estamos dispuestos a aceptar en la cifra total de emisiones viene definido por la materialidad del 5%, definida en la regulación. Por lo tanto, el valor del margen de error estará basado en la materialidad. Para cada flujo de combustibles o materiales, el verificador determinará el peso que tiene en la cifra final de emisiones y el riesgo que representa según el análisis de riesgos. Con estos datos determinará el valor de este parámetro para obtener el tamaño de la muestra. Por ejemplo, si la cifra final de emisiones de GEI está formada por dos flujos por igual: Gas natural y carbón. Del gas natural tenemos las 12 facturas mensuales sujetas a contador calibrado y controlado por la empresa suministradora según la legislación sobre control metrológico nacional. Para el carbón se utiliza una balanza controlada por la ESR. En este caso prepararemos un plan de muestreo de los valores obtenidos en la balanza a lo largo del año que es el flujo de donde podría venir un error material. Para ello estimaremos un valor para el margen de error o intervalo de confianza que será el umbral de materialidad dividido entre el peso de las emisiones del carbón sobre las emisiones totales: $5\% / 0,5 = 10\%$.

La probabilidad de error sería la proporción de datos en la población que estamos muestreando donde no existe ninguna desviación, en los que no vamos a encontrar error. Es un valor que mide la variabilidad de los datos, por lo que su valor más conservador sería un 50%, que nos da la máxima variabilidad. Si estimamos que muchos datos van a contener un error o desviación, por ejemplo, un 80%, o por el contrario que no van a aparecer datos con errores, por ejemplo, solo un 20%, el número de muestras a tomar sería menor, ya que la población sería muy uniforme. Para estimar el valor de probabilidad de error tendremos en cuenta los resultados del análisis de riesgos y el juicio profesional del verificador. Por ejemplo, cuando revisamos una serie de datos obtenidos de un medidor electrónico que se procesan manualmente, podemos estimar que existe un potencial de error humano de un 10%, por lo que tomaremos una $p = 0.1$ y $q = 0.9$. Si se han establecido medidas de control para este proceso manual, comparando los datos con ratios de producción o con acumulados semanales y mensuales, podemos estimar que la probabilidad de error será menor, y tomar una $p = 0.02$ y $q = 0.98$, obteniendo así valores de tamaño de la muestra menores.

El tamaño de la muestra se calcula a partir de la fórmula de Cochran para muestreo probabilístico:

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

Donde:

Z es el área bajo la curva de distribución normal que engloba un % de los resultados esperados. Para nuestro caso, con un nivel de confianza del 95%, la abscisa de la curva de distribución normal que engloba el 95% de los resultados, sería 1,96.

P es la probabilidad de error, que para obtener la máxima variabilidad sería de 0,5 (50%).

q es p-1, para la máxima variabilidad sería también 0,5

e es el error aceptable o margen de error o intervalo de confianza, que en nuestro caso se toma un valor basado en la materialidad del 5%.

N tamaño total de la población que queremos muestrear

a. Empleo con los diferentes enfoques de selección de la muestra:

Para los enfoques de selección aleatoria simple y selección aleatoria sistemática se utiliza la fórmula 1 anterior.

En el enfoque de selección aleatoria estratificada, nos encontramos con una población dividida en estratos según sus características. Considerando que tanto el nivel de confianza como el intervalo de confianza serían siempre los mismos en cada estrato, solo se aplicaría esta opción en el caso de tener constancia de que en cada estrato podemos encontrar diferentes probabilidades de error. En el entorno de la verificación de emisiones, este caso no es común y raramente se utilizará. Por ejemplo, si tenemos los datos de entrada de mercancía por dos balanzas diferentes 1 y 2, y en el análisis de riesgos hemos detectado que una de las balanzas, la 2, da errores de lectura por falta de calibración o mantenimiento, se podría considerar hacer un muestreo estratificado. Calcularíamos la muestra para los datos de la balanza 1 y comprobaríamos los datos de la balanza 1, mientras que para la balanza 2 habría que tomar una muestra diferente, aplicando una probabilidad de error (p) mayor, para estimar la desviación total para esta balanza en concreto.

En el enfoque de selección de la muestra por bloques o clústeres, tendremos una población dividida en diferentes localizaciones. Este caso solo se producirá para grupos empresariales calculando la cifra de emisiones consolidada para todas las instalaciones del grupo. En los ETS conocidos muy rara vez se dará esta situación. En este caso nos podemos encontrar, con un número de localizaciones muy elevado y no será factible visitar todas. Si queremos asegurar la certeza razonable de nuestro veredicto de verificación, podríamos emplear la fórmula 1 para calcular el número de localizaciones que vamos a muestrear, estimando una probabilidad de error más pequeña (entre un 10% – 2%). Dentro de cada localización, dependiendo de cada variable, podremos revisar el 100% de los datos o habrá que calcular una muestra para variables con muchos datos, siendo este el caso de la **selección multicapas**.

b. Cálculo del tamaño de la muestra para diferentes poblaciones:

A continuación, se presenta una tabla con los valores del tamaño de muestra para diferentes tamaños de población, error aceptable (e -intervalo de confianza) y estimaciones de la probabilidad de error.

n_0 indica el tamaño de la muestra para poblaciones muy grandes, más o menos por encima de 100.000 individuos. En rojo se señalan los casos donde se debe verificar el 100% de los valores de la población.

La presente guía se acompaña de una herramienta de cálculo para estimar el tamaño de la muestra.⁴

⁴ Archivo Excel 'Herramienta muestreo.xlsx'

TAMAÑO DE LA MUESTRA

p= 50%

95% Confianza			N																		
e	Z	n ₀	20	35	50	65	75	90	100	250	350	500	600	750	1.000	1.500	2.500	3.500	5.000	7.500	10.000
5,00%	1,96	384,16	20	35	45	56	63	74	80	152	184	218	235	255	278	306	334	347	357	366	370
2,50%	1,96	1536,64	20	35	50	63	72	86	94	216	286	378	432	505	607	760	952	1069	1176	1276	1333
1,67%	1,96	3443,65	20	35	50	65	75	90	100	234	318	437	512	617	776	1046	1449	1737	2040	2361	2562
1,25%	1,96	6146,56	20	35	50	65	75	90	100	241	332	463	547	669	861	1206	1778	2.231	2.758	3.379	3.807

TAMAÑO DE LA MUESTRA

p= 80%

95% Confianza			N																		
e	Z	n ₀	20	35	50	65	75	90	100	250	350	500	600	750	1.000	1.500	2.500	3.500	5.000	7.500	10.000
5,00%	1,96	245,86	20	31	42	52	58	67	72	125	145	166	175	186	198	212	224	230	235	239	240
2,50%	1,96	983,45	20	35	48	62	70	83	91	200	259	332	373	426	497	595	707	768	822	870	896
1,67%	1,96	2203,94	20	35	50	65	73	87	96	225	303	408	472	560	689	893	1172	1353	1530	1704	1807
1,25%	1,96	3933,80	20	35	50	65	75	90	100	236	322	444	521	631	798	1087	1529	1.853	2.202	2.581	2.824

TAMAÑO DE LA MUESTRA

p= 90%

95% Confianza			N																		
e	Z	n ₀	20	35	50	65	75	90	100	250	350	500	600	750	1.000	1.500	2.500	3.500	5.000	7.500	10.000
5,00%	1,96	138,30	20	29	37	45	49	55	59	90	100	109	113	117	122	127	132	134	135	136	137
2,50%	1,96	553,19	20	35	46	59	67	78	85	173	215	263	289	319	357	405	454	478	499	516	525
1,67%	1,96	1239,71	20	35	50	62	71	84	93	209	274	357	405	468	554	679	829	916	994	1064	1104
1,25%	1,96	2212,76	20	35	50	64	73	87	96	225	303	408	473	561	689	895	1175	1.356	1.535	1.709	1.812

TAMAÑO DE LA MUESTRA

p= 98%

95% Confianza			N																		
e	Z	n ₀	20	35	50	65	75	90	100	250	350	500	600	750	1.000	1.500	2.500	3.500	5.000	7.500	10.000
5,00%	1,96	30,12	13	17	20	21	22	23	24	27	28	29	29	29	30	30	30	30	30	31	31
2,50%	1,96	120,47	18	28	36	43	47	52	55	82	90	98	101	104	108	112	115	117	118	119	120
1,67%	1,96	269,98	20	32	43	53	59	68	74	131	153	176	187	199	213	229	244	251	257	261	263
1,25%	1,96	481,89	20	35	46	58	66	76	83	165	203	246	268	294	326	365	405	424	440	453	460

Tabla 2: Tamaño de muestra para diferentes poblaciones

8. Cálculo de la materialidad:

Al realizar las comprobaciones en una muestra, es posible que el verificador identifique errores que den lugar a no-conformidades. A continuación, el verificador debe analizarlos extrapolando el error identificado a toda la población. En el análisis de estos errores el verificador tendrá en cuenta la naturaleza, la causa y los posibles impactos en otras actividades o conjuntos de datos de la instalación, para evaluar si la afección a la cifra final de emisiones es material o no.

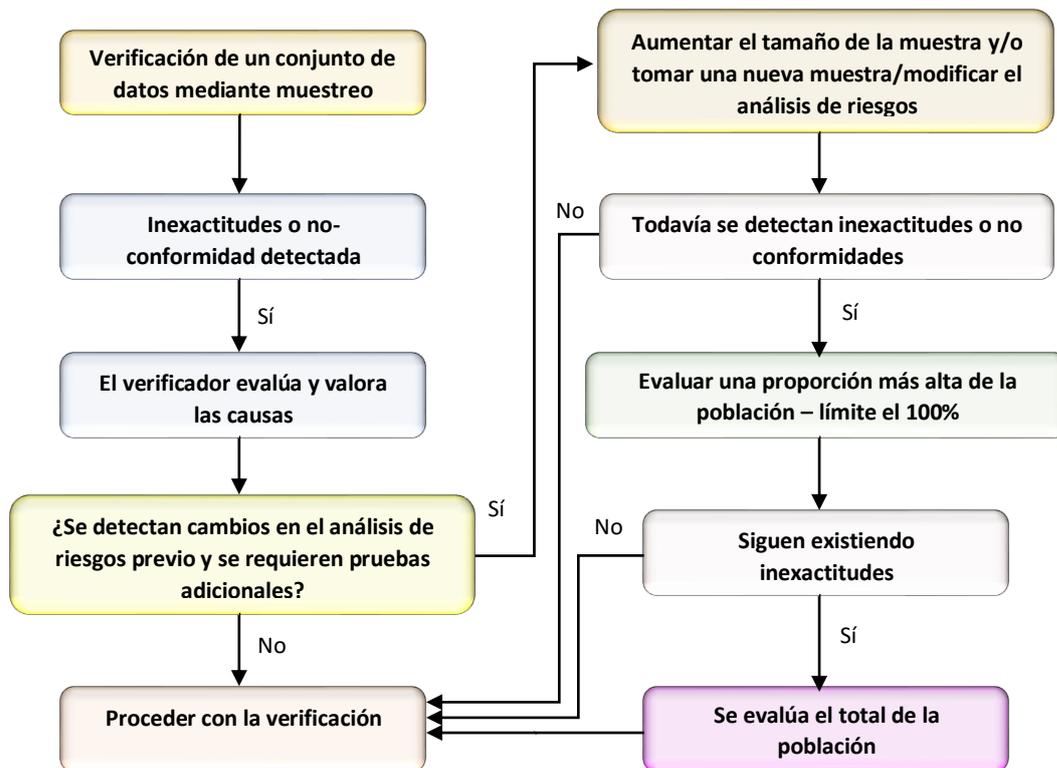


Tabla 3: Etapas en la comprobación de una muestra. Fuente: traducción de 'AVR Key guidance note No. II.4'

Si el error se detecta durante el muestreo de las actividades de control, el verificador determinará si el análisis de las causas proporciona una base suficiente para seguir confiando en esa actividad de control o si, por el contrario, el riesgo se ve incrementado y se requiere el aumento del tamaño de la muestra y actividades de muestreo extras, con pruebas más detalladas, requiriendo una actualización del plan de verificación.

Si el error se detecta durante la comprobación de un conjunto de datos, el verificador debe evaluar el riesgo de errores y no-conformidades en otras partes de la población y extrapolarlo a la población total, calculando como afectaría a la cifra final de emisiones. Una vez corregidos los errores detectados, el verificador debe considerar si la muestra analizada proporciona una base razonable para alcanzar confianza suficiente de que no existen errores materiales en la población total, en otro caso, se requerirán actividades de muestreo y pruebas adicionales.

El verificador evaluará el riesgo de que el mismo error se repita a lo largo de toda la población y la posibilidad de que los errores en otras partes de la población sean de mayor o menor magnitud. Para ello se debe tener en cuenta que la aplicación del muestreo estadístico, tal y como se explica en la presente guía, teóricamente significa que: "El resultado obtenido en el análisis de la muestra tiene 95% de posibilidades de ser el resultado que se obtendría para toda la población con un rango de variabilidad del $\pm 5\%$ (o el intervalo de confianza considerado)".

En teoría esto valdría para concluir con un grado de aseguramiento razonable que la cifra final de emisiones estaría libre de errores materiales. Pero el verificador debe considerar el riesgo de que el resto de la población no se comporte de la misma manera. Para ello al evaluar los errores encontrados se considerarán las siguientes recomendaciones:

- Si estamos ante un error sistemático que se repetiría en todas las muestras de la misma forma, podemos considerar que el error detectado en la muestra es el que se detectaría para toda la población. Por ejemplo, si detectamos un error por una medición errónea que se repite todos los días a la misma hora y evaluamos que representa un 1% sobre la muestra, el error extrapolado a toda la población sería también del 1%.
- Si estamos ante un error aislado, esto es, tenemos seguridad de que es un hecho aislado que no puede repetirse en otras muestras de la misma población – Por ejemplo, se ha reemplazado un medidor para mantenimiento y la pérdida de datos durante el tiempo necesario para reemplazarlo no se ha tenido en cuenta – después de evaluar la magnitud del error se consideraría toda la población a la hora calcular su materialidad, no únicamente sobre la muestra tomada.
- Si no tenemos certeza sobre cómo se comportaría el error detectado en el resto de la población, tenemos que considerar el riesgo de que se pudieran dar errores de mayor magnitud. Esto lo vamos a encontrar principalmente cuando verificamos series de datos transferidos manualmente o procesados manualmente. El factor más relevante a tener en cuenta en este caso es la probabilidad de error (p) considerada en la fórmula de Cochran. En estos casos se debería asegurar que esta probabilidad realmente representa la situación real, mediante la ampliación de la muestra o la toma de muestras adicionales. Si se detectan más errores, habría que reconsiderar el planteamiento para obtener el tamaño de la muestra y tomar un valor de (p) más conservador acercándolo al 50%. Una vez comprobado que la probabilidad (p) estimada es representativa, podemos estimar que el error para toda la población sería el mismo que el error obtenido para la muestra.

Como regla general en México, como los factores de cálculo (Factores de emisión y Poder calorífico de combustibles) vienen dados por defecto y la única variable es el dato de actividad, podemos considerar que, si el verificador obtiene certeza razonable de que las desviaciones acumuladas para la obtención del dato de actividad de un flujo de combustible o materias primas no son materiales, se considerará que el cálculo de las emisiones para esos flujos no contiene desviaciones materiales. Teniendo en cuenta el peso de cada flujo en el cálculo de las emisiones totales, se estimará si la cifra final que se está verificando puede contener desviaciones materiales o no.

De tal forma que, para estimar el error en la cifra final de emisiones cuando tenemos varios flujos o fuentes diferentes (por ejemplo, GN, carbón, fuel, carbonatos, ...), se tomará la suma ponderada de los errores o desviaciones parciales encontrados en cada fuente. Por ejemplo, si en la fuente 1, que representa un 80% de las emisiones totales, encontramos un error del 3%; y en la fuente 2 que representa un 20% de las emisiones totales, encontramos un error del 15%; tendremos que la materialidad para este caso será: $3\% \times 0,8 + 15\% \times 0,2 = 5,4\%$.

Se debe tener en cuenta que siempre cualquier error, inexactitud o no conformidad debe ser corregida por la ESR.

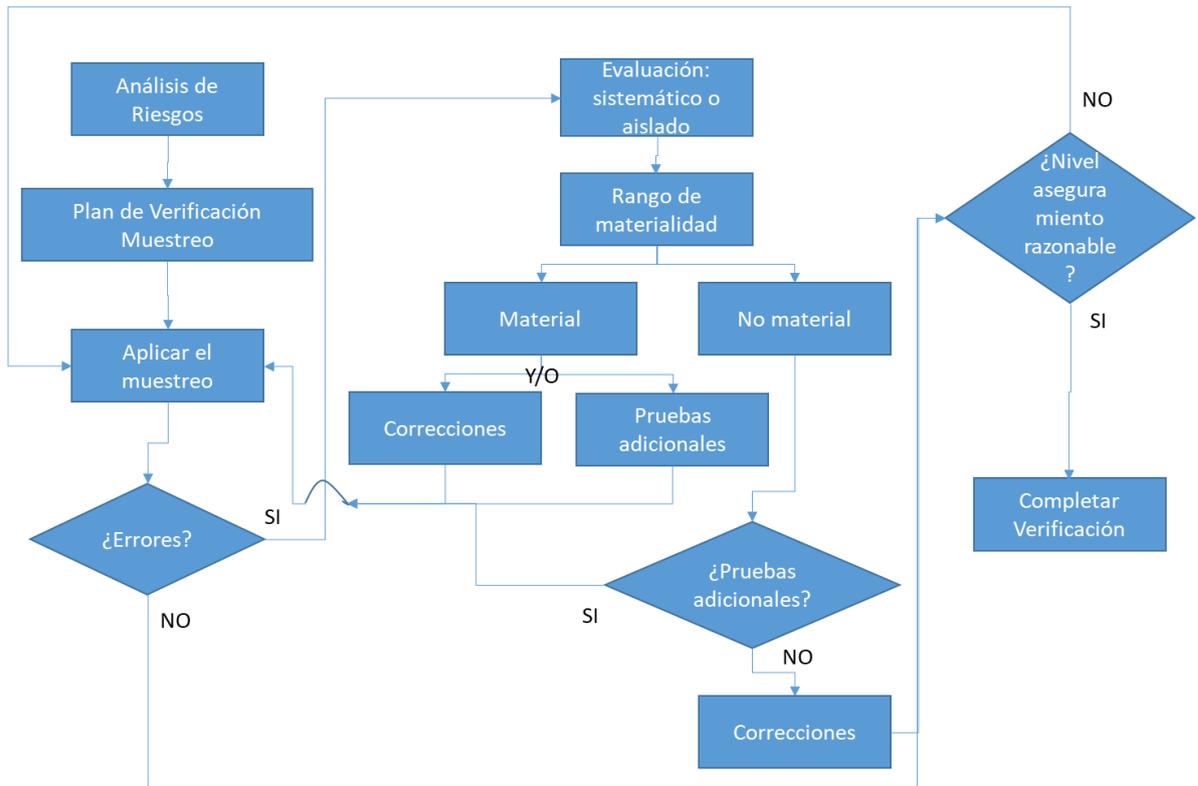


Tabla 4: Aplicación de la materialidad. Fuente: elaboración propia a partir de la Guía del CDM 'Guideline Application of materiality in verifications'.

EJEMPLOS:

1. Comprobación de actividades de control:

a) Muestreo no estadístico:

Se trata de una Refinería que consta de dos plantas de refinado: refinería I y II, una planta de aromáticos, una planta de conversión que incluye la planta Claus, los terminales de carga de camiones y barcos, depósitos de almacenamiento, así como una planta de energía con una turbina de gas y 6 calderas.

Los siguientes componentes de la planta y flujos de combustible son importantes para el cálculo de las emisiones de CO₂:

CENTRAL ENERGÉTICA (606.450 tCO₂)		
Combustibles	Emisiones (tCO₂)	Control
Aceite pesado (Heating Oil)	430.000	Medidores de flujo
Gas Natural	90.000	Medidores de flujo
Gas de refinería	80.000	Medidores de flujo
HVR-Residuo pesado de vacío	20	Medidores de flujo
Proceso-Material	Emisiones (tCO₂)	Control
CO ₃ Ca – Depuración gases escape	3.500	Albaranes entrada y control stocks
Balance de masas	Emisiones (tCO₂)	Control
Gases residuales terminal puerto a calderas	85	Balance C
Gases residuales terminal terrestre a calderas	145	Balance C
Gases residuales terminal puerto a caldera auxiliar puerto	2.700	Balance C
REFINERIAS (681.580 tCO₂)		
Combustibles	Emisiones (tCO₂)	Control
Gas de refinería	665.000	Medidores de flujo
Gases residuales bitumen - TNV	6.140	Medidores de flujo
Gas de antorcha	5.000	Medidores de flujo
Metano	2.400	Medidores de flujo
Gas agrio – Planta Claus	1.870	Medidores de flujo
Diesel – Generadores emergencia	25	Medidores de flujo
Propano – caldera auxiliar puerto	15	Nivel depósitos
Proceso-Material	Emisiones (tCO₂)	Control
Coque	850	Albaranes entrada y control stocks
Hidrógeno Planta SCOTT	300	Medidores de flujo

El sistema de control consta de 83 elementos de control repartidos de la siguiente manera:

Planta	Número elementos	Tipo
Central Energía	24	
Refinería I	10	

Refinería II	9	Medidores flujo Gas y líquidos: Coriolis, Venturi y placa orificios. Conversores volumétricos de presión y temperatura.
Conversión	34	
Aromáticos	2	
Depósito Diesel	2	
Terminales-gases residuales	2	

Debido a la complejidad de la planta, se decide hacer la verificación en dos etapas, una visita en septiembre y otra de enero para el cierre de la verificación con los datos finales.

Se considera que la comprobación de los 83 elementos de control en un solo ciclo de dos visitas se presenta inviable física y económicamente, por lo que se decide establecer un plan de muestreo que asegure con un grado de certeza razonable, que los elementos de control mantienen la incertidumbre necesaria para obtener una cifra global de emisiones sin errores materiales.

Para establecer el plan de muestreo se tienen en cuenta, en primera instancia, los resultados del análisis de riesgos.

Análisis de Riesgos:

Se prepara un análisis de riesgos para cada una de las plantas por flujo de combustible o material, para establecer los puntos donde el riesgo de detección se debe mantener más bajo:

		Riesgos						
ID	Fuente/localización	Inherente	Evaluación	Elementos de control	Control	Mitigación	Detección	Pruebas Verificación
1	Gas de refinería Central Energía Refinería I Refinería II Planta Aromáticos Planta Conversión Terminales	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Alto Medio	Medidores flujo	Medio	Control interno: Plan de mantenimiento equipos medición	Medio	Comprobación localización, calibración, mantenimiento y lagunas de datos
2	Aceite Pesado: Central Energía	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Alto Medio	Medidores flujo	Medio		Medio	
3	Gas Natural: Central Energía Terminales	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Alto Medio	Medidores flujo	Bajo (legislación)	Control externo: suministrador	Alto	
4	Residuo Pesado HVR Central Energía	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Bajo Bajo	Medidores Flujo	Medio	Control interno: Plan de mantenimiento equipos medición	Alto	
5	Metano Planta Conversión	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Bajo Bajo	Medidores Flujo	Medio		Alto	
6	Hidrógeno Planta Conversión	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Bajo Bajo	Medidores Flujo	Medio		Alto	
7	Gas Agrio Planta Conversión	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Bajo Bajo	Medidores Flujo	Medio		Alto	
8	Antorcha Planta Conversión	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Bajo Bajo	Medidores Flujo	Medio		Alto	
9	Gas residual bitumen Terminales	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Bajo Bajo	Medidores Flujo	Medio		Alto	
10	Diesel Central emergencia	Fallo medidor	Prob: Media Cons: Bajo Bajo	Medidores Flujo	Medio		Alto	

Para evaluar el riesgo se han tenido en cuenta las tablas siguientes, considerando que el riesgo de verificación se mantiene fijo en un valor bajo (5% - certeza razonable 95%). Al aplicar la relación $RV = RI \times RC \times RD$, teniendo evaluado el riesgo inherente y el riesgo de control podemos obtener el riesgo de detección y conocer su rango de magnitud.

1) Inherente

		Consecuencias		
		L	M	H
Probabilidad	L	bajo	bajo	bajo
	M	bajo	Medio	Medio
	H	bajo	Medio	Alto

2) Control

L	M	H
---	---	---

3) Riesgo de Detección

		Control			
		H	M	L	
Inherente	H	Muy bajo	bajo	Medio	Cuanto menor sea el riesgo de detección, mayor será la profundidad de la verificación y la cantidad de muestreo y pruebas necesarias para reducir el nivel de riesgo de verificación, de modo que se acepte el riesgo residual
	M	bajo	Medio	Alto	
	L	Medio	Alto	Altísimo	

Plan de Muestreo:

El método o enfoque de selección empleado en este caso será el muestreo basado en el riesgo combinado con el enfoque por bloques. Se consideran 4 bloques basados en las diferentes plantas de la instalación:

1. Planta de energía: 24 medidores
2. Plantas de refinería I y refinería II: 19 medidores
3. Planta de conversión (I): 20 medidores de los 34 de la planta
4. Planta de conversión (II) más el resto de las plantas (Aromáticos, diésel y terminales): 20 medidores: 14 conversión + 2 aromáticos + 2 terminales + 2 diésel

En cada visita semestral se revisará uno de los bloques, de tal forma que en dos años se habrá comprobado el 100% de los elementos de control. En el análisis de riesgos se detecta que los mayores esfuerzos durante la verificación se deben dedicar a los flujos de Gas de refinería, Gas natural y Aceite pesado, que se consumen en las plantas de energía, refinería y conversión. Por lo tanto, en cada visita se revisarán parte de los medidores de estos flujos. Así el plan de muestreo quedaría, siendo 'x' y 'x+1' los años de reporte:

Fecha	Localización	Medidores	Pruebas
Sept/Oct año x-1	Planta de energía	<ul style="list-style-type: none"> 3 medidores por cada una de las 5 calderas (Gas de refinería, HVR y aceite pesado) 1 medidor GN para la turbina 1 medidor Gas de refinería para la caldera de la turbina 1 medidor de aceite ligero para la turbina 4 medidores de gas natural y 2 medidores de gas de refinería para los hornos de calentamiento 	<ol style="list-style-type: none"> Se comprueba que existe un programa de mantenimiento y los registros de ejecución. Se revisa cada certificado de calibración. Se analiza la hoja de datos de cada medidor. El sistema informático registra los valores cada 10', por lo que se tiene una serie de $365 \times 24 \times 6 = 52.560$ valores por cada medidor. El tratamiento de los datos esta automatizado por lo que se revisan 2-3 valores por
Enero/Feb año x	Planta refinería I Planta refinería II	<ul style="list-style-type: none"> 10 medidores de gas de refinería en refinería I. 9 medidores de gas de refinería en refinería II. 	

Sept/Oct año x	Planta Conversión	<ul style="list-style-type: none"> • 3 medidores de gas agrio planta Claus • 3 medidores hidrógeno planta Claus • 1 medidor metano planta Scot • 1 medidor hidrógeno planta Scot • 12 medidores gas de refinería 	<p>medidor y el tratamiento que se les da automáticamente para comprobar que el sistema obtiene los resultados esperados.</p> <p>d) Para comprobar si existe laguna de datos, se aplica el enfoque de selección al azar, para ello se utiliza la herramienta de la hoja Excel para detectar huecos en una fila de valores. Se analizan las causas de varios huecos encontrados y se determina como afecta a los resultados finales. Si se detecta un error de lectura se comprueba si puede dar lugar a inexactitudes materiales o no y se revisa como se ha aplicado la metodología para estimar los valores cuando se produce una laguna de datos. En caso necesario se ampliará la búsqueda de huecos de datos.</p>
Enero/Feb año x+1	<ul style="list-style-type: none"> • Planta Conversión • Planta Aromáticos • Planta Diésel • Terminales 	<ul style="list-style-type: none"> • 14 medidores gas de refinería planta conversión • 2 medidores diésel panta emergencia • 2 medidores gas de refinería en planta aromáticos • 1 medidor de gas de refinería para TNV en terminales • 1 medidor de gas residual bitumen para TNV en terminales (TNV-Instalación postcombustión) 	

b) Muestreo estadístico:

Siguiendo con el ejemplo anterior vamos a determinar la muestra en el caso de aplicar muestreo estadístico.

Consideramos una población de 83 elementos. Si tomamos la [tabla 1](#) vista anteriormente con valor de CL del 5%, nos saldría una muestra de 34 elementos. Para establecer el plan de muestreo, consideramos el número de elementos por cada planta visto anteriormente y establecemos 5 estratos:

Estrato	Localización	Medidores	Descripción
1	Planta de energía	24	<ul style="list-style-type: none"> • 3 medidores por cada una de las 5 calderas (Gas de refinería, HVR y aceite pesado) • 1 medidor GN para la turbina • 1 medidor Gas de refinería para la caldera de la turbina • 1 medidor de aceite ligero para la turbina • 4 medidores de gas natural y 2 medidores de gas de refinería para los hornos de calentamiento
2	Planta refinería I	10	<ul style="list-style-type: none"> • 10 medidores de gas de refinería.
3	Planta refinería II	9	<ul style="list-style-type: none"> • 9 medidores de gas de refinería.
4	Planta Conversión	34	<ul style="list-style-type: none"> • 3 medidores de gas agrio planta Claus • 3 medidores hidrógeno planta Claus • 1 medidor metano planta Scot • 1 medidor hidrógeno planta Scot • 26 medidores gas de refinería
5	<ul style="list-style-type: none"> • Planta Aromáticos • Planta Diésel • Terminales 	6	<ul style="list-style-type: none"> • 2 medidores diésel panta emergencia • 2 medidores gas de refinería en planta aromáticos • 1 medidor de gas de refinería para TNV en terminales

			<ul style="list-style-type: none"> 1 medidor de gas residual bitumen para TNV en terminales (TNV-Instalación postcombustión)
--	--	--	---

Aplicamos el enfoque de selección aleatoria estratificada para seleccionar los medidores de la muestra entre los 5 estratos, por su peso en la población total:

Estrato	Localización	Medidores	Muestra
1	Planta de energía	24	10
2	Planta refinería I	10	4
3	Planta refinería II	9	4
4	Planta Conversión	34	14
5	<ul style="list-style-type: none"> Planta Aromáticos Planta Diésel Terminales 	6	2
TOTALES:		83	34

Con esta opción el tamaño de la muestra es algo menor, habiéndose revisado 68 medidores en dos años, un 82% de la población total. Teniendo en cuenta el análisis de riesgos y las emisiones de cada combustible, existen medidores que aportan un peso insignificante (< 1%) al valor final de las emisiones, que se pueden revisar en periodos trianuales.

Para seleccionar la muestra en cada estrato aplicamos el muestreo sistemático, para ello se divide el número de elementos entre la muestra y se obtiene el rango para elegir los elementos:

Estrato	Localización	Medidores	Rango
1	Planta de energía	24	2,4
2	Planta refinería I	10	2,5
3	Planta refinería II	9	2,2
4	Planta Conversión	34	2,4
5	<ul style="list-style-type: none"> Planta Aromáticos Planta Diésel Terminales 	6	3
TOTALES:		83	

Así en las plantas de Energía, Refinerías I y II y Conversión se elegiría uno de cada dos medidores hasta llegar al tamaño de la muestra y para las plantas restantes – estrato 5 – se toma un elemento de cada tres. Cada año se alterna el elemento de inicio de la selección, por ejemplo, el año x se empieza con el primero de la lista y el siguiente año con el segundo, teniendo en cuenta que para el estrato 5 habrá que empezar el tercer año con el tercer elemento y en los otros estratos, el tercer año se debe seleccionar el elemento que no ha sido seleccionado en los dos años anteriores.

Una vez seleccionada la muestra, las pruebas a realizar serían las mismas que en el caso anterior.

c) Resultados:

- Muestreo no estadístico:** en este caso se revisan todos los medidores por cada periodo de dos años. Cualquier salvedad o error se debería corregir o resolver antes de emitir un veredicto de verificación, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Cuando se comprueba si está o no calibrado, cualquier salvedad debe ser resuelta por la entidad, por ejemplo: calibrando el medidor o estableciendo un plan para comprobar la incertidumbre de la medición hasta que se pueda calibrar el aparato. En este caso, cualquier medidor que controle el flujo de los tres combustibles principales (Aceite pesado, Gas natural y Gas de refinería) debe ser objeto de revisión más profunda, de tal forma que si existe un fallo de calibración se deberían estimar los rangos de error y reflejarlos en el informe, indicando su materialidad. En el caso de los otros medidores, una falta de calibración temporal no daría lugar a errores potenciales que puedan llegar a ser materiales.
- Cuando se comprueba si existe o no una laguna de datos, se analizarán las causas y se comprobará su veracidad. Por ejemplo, paradas por mantenimiento o por causas de fuerza mayor. Si la falta de datos fuera por errores de lectura habrá que suplir el periodo detectado con una estimación de datos según lo recogido en el plan de monitoreo para la gestión de las lagunas de datos. Por ejemplo, tomar los datos del periodo inmediatamente anterior, calcularlos a partir de datos de producción, etc. En el caso de los tres flujos principales, el verificador debe estimar si los datos que faltan pueden dar lugar a una inexactitud material o no. En el caso que pudiera ser material se debe demostrar que con la corrección se evita el error material y se debe verificar en profundidad la metodología de estimación de los datos faltantes y su aplicación.
- **Muestreo estadístico:** el tratamiento de las salvedades encontradas sería similar al caso anterior de muestreo no estadístico. Pero en este caso, si se detectan rangos de error o inexactitudes que puedan ser materiales, el verificador ampliará el tamaño de la muestra para asegurar que no se repiten las salvedades detectadas. Por ejemplo, ampliando la muestra un 20% en el estrato donde se haya detectado la salvedad, teniendo en cuenta también el análisis de riesgos; así para salvedades en los flujos principales se revisaría un 20% de entre estos medidores, mientras que para el resto de los combustibles no principales se podría no ampliar el tamaño de la muestra, ya que estos errores no llegarían a ser materiales.

Para el tratamiento de las salvedades encontradas, siempre debe prevalecer el juicio profesional del verificador basado en el análisis de riesgos. Las decisiones sobre ampliar o no la muestra estarán siempre basadas en los resultados obtenidos en el análisis de los riesgos inherentes y de control, tal y como se describe en la [tabla](#) de los factores a considerar para el muestreo de los datos.

2. Muestreo de Datos:

Muestreo estadístico:

Siguiendo con el caso anterior, cuando se realiza la comprobación de cada medidor vemos que existen dos tipos de pruebas:

- **Muestreo de atributos:** solo existen dos variables: está calibrado o no, incluido en el plan de mantenimiento o no, ejecutado el mantenimiento o no y se comprueba si el sistema automatizado da resultados correctos. En este caso son comprobaciones de orden cualitativo.

- **Muestreo de variables:** Se comprueba una lista de datos para estimar si pueden existir inexactitudes por errores de lectura. En este caso se busca obtener un valor numérico de la magnitud del error.

En nuestro ejemplo al hacer el muestreo de variables se deben revisar 52.560 datos, para comprobar si existen lagunas de datos. Como ya se ha visto en el muestreo de los elementos de control, el proceso de tratamiento de datos esta automatizado, por lo que los valores de consumo de cada uno de los combustibles se obtiene directamente del software implementado en la empresa. En este caso, son sumas en periodos de tiempo determinados: día, mes, anual. Así si comprobamos la suma para un periodo de tiempo corto, donde podamos manejar el número de datos (p.ej. un día), y se comprueba que es correcto, podemos aceptar el valor final, siempre y cuando se haya revisado también el sistema de gestión de datos y las medidas de seguridad del mismo, para comprobar que no existe posibilidad de alteración de los datos de los medidores.

Por lo tanto, la revisión de datos se centrará en comprobar que no existen errores de lectura en los medidores. En el caso del muestreo no estadístico hemos visto cómo se revisan los datos de los medidores seleccionados al azar por parte del verificador. Ahora se elegirá una muestra de todos los datos para cada medidor estadísticamente según la fórmula de Cochran vista anteriormente.

Para ello tendremos en cuenta el análisis de riesgos, donde se detectan tres flujos de combustibles principales: el gas de refinería, el Aceite pesado y el Gas natural. Mientras que el resto de los flujos de combustible solo representan el 2% de las emisiones totales. Dentro de los flujos principales se ha estimado el riesgo de detección medio para el gas de refinería y el aceite pesado, mientras que para el gas natural se ha estimado bajo al estar sujeto a control metrológico nacional y no depender de la ESR. También tendremos en cuenta la posibilidad de fallo de los medidores para estimar la probabilidad de error, estando está directamente relacionada con el riesgo de control. Así los parámetros para calcular el tamaño de la muestra se estimarían según la tabla siguiente:

Flujo	Emisiones	Peso	Nivel de confianza	Intervalo de confianza	Probabilidad	Tamaño Muestra
Emisiones totales: 1.288.030 tCO ₂						
Gas de refinería	745.000	58%	95%	2,7%	98	104
Aceite pesado	430.000	33%	95%	2.7%	98	104
Gas Natural	90.000	7%	Se comprueba el 100% de los datos: 12 facturas anuales.			
Resto	23.030	2%	95%	5,4%	98	27

Para calcular el intervalo de confianza se ha considerado la siguiente estimación:

- El Gas natural representa un 7% de las emisiones, por lo que el error aceptable para el resto de los flujos sería: $5\%/0.93 = 5,4\%$
- En los flujos secundarios (representan un 2% de las emisiones) se considera que se puede mantener el error aceptable del 5,4%, ya que su influencia en caso de algún error siempre estaría por debajo de la materialidad.
- Para el gas de refinería y el aceite pesado se reparte el error aceptable entre ambos por igual.

Por cada medidor seleccionado en la muestra de las actividades de control anterior, se seleccionarán mediante el enfoque aleatorio sistemático, 104 o 27 valores, según el caso. Para

seleccionar las muestras se puede decidir tomar una muestra horaria, seleccionando entonces las horas donde se tomará una muestra al azar de los seis valores por cada hora. Estas horas se podrían seleccionar mediante el enfoque aleatorio sistemático, teniendo en cuenta que un año tiene 8.760 horas:

- Gas de refinería y Aceite pesado: $8.760 / 104 = 84,2$ horas y $84,2 / 24 = 3,5$. Se podrían tomar dos días al azar de cada semana a lo largo del año y de cada día seleccionado tomar una hora al azar, tomándose así 104 muestras en total.
- Resto: $8760 / 27 = 324,4$ horas y $324,4 / 24 = 13,5$. Se tomarían dos días al mes al azar más 1 día extra en abril, agosto y diciembre. De cada día seleccionado se toma una hora al azar, quedando así la muestra de 27 elementos.

Dentro de las horas seleccionadas se toma al azar un valor de entre los 6 datos por hora y se comprueba si existen lagunas de datos. En caso de existir alguna, se analizan las causas para comprobar si afecta o no a los resultados finales. Por ejemplo, el caso de paradas por mantenimiento no daría lugar a ninguna corrección. Solo en el caso de detectarse malfuncionamiento de los medidores o errores de lectura habría que determinar el alcance del error. Para ello se debería ampliar el tamaño de la muestra con las horas y los días anteriores y posteriores para comprobar el alcance de la laguna de datos o malfuncionamiento. El valor total del error encontrado se extrapola al consumo total del flujo considerado. Para ello se debe tener en cuenta el peso del medidor considerado en la cifra final.

Por ejemplo, si en una muestra de 104 datos en un medidor de gas de refinería, encontramos finalmente un error de 5.000 m^3 . Sabiendo que el flujo en cada medidor de gas de refinería es de 20 millones de m^3 y que los valores de la muestra seleccionada son 40.500 m^3 , podemos estimar el error en toda la población en $5.000 / 40.500 = 12,35\%$:

- En el caso de ser un error sistemático, que se repetiría en todas las muestras tomadas, en el valor final de ese medidor existiría un error de 12,35%.
- En el caso de ser un error aislado, que podemos asegurar que solo se produce en la muestra tomada, en el valor final de ese medidor existiría un error de $5.000 / 20.000.000 = 0,025\%$.
- Si no podemos asegurar cómo se comportarían otras muestras dentro de la población, debemos comprobar si la probabilidad del 98% de que no exista error, estimada es representativa o no. Como el error dentro de la muestra es material, el verificador decide aumentar el tamaño de la muestra, para ello considera un valor de la probabilidad del 90%. Manteniendo el resto de los parámetros de la fórmula de Cochran, obtenemos un tamaño de muestra de 475 elementos. Siguiendo el mismo método para seleccionar aleatoriamente los elementos de la muestra, después de analizarla, obtenemos un error del 12%. El verificador concluiría entonces que la probabilidad estimada sí que es representativa y tomaría el valor del 12% como el error sobre el valor final de ese medidor. Para continuar con el ejemplo, consideraremos que este es el caso encontrado.

Para calcular la materialidad del error detectado, tendremos en cuenta los resultados del muestreo de datos en todos los medidores de gas de refinería revisados. Tomando como valor final de la materialidad para el gas de refinería, la suma ponderada de todos los errores encontrados en cada medidor. Si consideramos que, de los 22 medidores de gas de refinería muestreados, hemos detectado errores en 10 con los siguientes valores:

MEDIDOR	ERROR DETECTADO (%)	FLUJO m^3	PESO (%)	ERROR PONDERADO (%)
1	12	40.500	4,50	0,54
2	5	39.800	4,42	0,22

MEDIDOR	ERROR DETECTADO (%)	FLUJO m ³	PESO (%)	ERROR PONDERADO (%)
3	10	40.000	4,45	0,44
4	2	35.000	3,89	0,08
5	1	50.000	5,56	0,06
6	3	25.000	2,78	0,08
7	4	60.000	6,67	0,27
8	15	41.000	4,56	0,68
9	2	37.500	4,17	0,08
10	1	47.500	5,28	0,05
TOTAL		416.300		
x 12	0%	483.500	53,73	0,00
TOTAL		899.800	100,00	2,51

Obtendremos que el valor de la materialidad para el gas de refinería sería del 2,51% ± 5%, con una confianza del 95%. En este caso, para este flujo concreto, podemos verificar que el error detectado estaría por debajo del umbral de materialidad, levantaríamos una no conformidad menor y el informe de verificación sería positivo, aunque la no conformidad tendría que ser resuelta satisfactoriamente para cerrarla en el informe final de verificación.

3. Materialidad

a) En la planificación:

Tenemos una ESR que emite 200.000 tCO₂ anuales. Según la regulación en México se aplica un umbral de materialidad del 5%.

- La ESR requiere la verificación de emisiones de solo tres fuentes. Según el análisis estratégico inicial, la primera fuente de emisiones representa el 78,2% de las emisiones totales, la segunda fuente representa el 20% de las emisiones totales y la tercera fuente representa el 1,8% de las emisiones totales (es decir, menos del umbral de materialidad del 5%).
- Basado en el análisis de riesgos (Evaluación de cómo la ESR recopila, mide, procesa e informa los datos para cada fuente) se determina que la segunda fuente (que representa el 20% de las emisiones totales) tiene el mayor potencial de errores, omisiones o incorrecciones ya que los datos se registran manualmente en una hoja de cálculo. Las otras dos fuentes usan series de datos automatizados para registrar los datos y hacer los cálculos de emisiones.
- Por lo tanto, en este caso, el mayor riesgo de errores materiales se encontraría en la segunda fuente de emisiones. El plan de verificación se diseñará, entonces, para garantizar que la mayor parte del tiempo de verificación se dedique a la fuente con el mayor riesgo de posibles errores, frente a las fuentes primera y tercera.

b) Durante la verificación:

Ejemplo 1: Una ESR tiene unas emisiones totales de 100,000 tCO₂ anuales. El plan de monitoreo de las emisiones anuales implica recoger miles de datos de forma manual. El verificador aplica el muestreo aleatorio, siguiendo la guía de muestreo, para comprobar si la transferencia de registros escritos a mano a la base de datos para el tratamiento de los datos se realizó adecuadamente.

- Según el plan de muestreo se selecciona una muestra de 200 datos. Durante la verificación se comprueba que de 200 muestras dos transferencias de datos se realizaron erróneamente. Al extrapolar el error resultante a todo el conjunto de datos, se calcula que la materialidad sería inferior al 0,5%.
- El verificador solicita que la ESR corrija los dos errores identificados y revise todo el conjunto de datos para verificar si también se produjeron errores similares en el conjunto de datos restante no verificados. Después de haber confirmado que la ESR ha corregido los errores identificados, y de haber determinado que no hay riesgo de errores materiales dentro del conjunto de datos, el verificador determina que no se necesita más muestreo.

Ejemplo 2: Se trata de una ESR con unas emisiones totales de 400,000 tCO₂ anuales, siendo el umbral de materialidad del 5%. Durante el curso de la verificación, se identifican errores dentro de un conjunto de datos y se comprueba que fueron causados por errores en la transferencia manual de datos.

- Se analiza la causa de estos errores para calcular la materialidad y se identifica que representan un 0,5% de las emisiones totales (es decir, menos del umbral de materialidad del 5%), levantándose una no conformidad menor.

- La ESR resuelve la no conformidad corrigiendo estos errores y el verificador confirma las correcciones, pero también decide probar otra muestra de datos para alcanzar un nivel razonable de seguridad de que no hay errores adicionales en el conjunto de datos que, cuando se agregan con otros errores detectados, podrían ser materiales. No se identifican más errores en el conjunto de datos adicionales, y el verificador continúa con los elementos restantes de la verificación como se define en su plan de verificación.

Ejemplo 3: Tenemos una ESR con unas emisiones anuales de 600.000 tCO₂ anuales. Durante el curso de la verificación se identifican errores dentro de un conjunto de datos, causados por lecturas erróneas del medidor. Estos errores se cuantifican y extrapolan al conjunto de las emisiones y se calcula una materialidad del 6% de las emisiones totales (es decir, más del umbral de materialidad del 5%).

- El verificador solicita a la ESR que corrija el conjunto de datos que contiene los errores antes de realizar cualquier procedimiento de auditoría adicional.
- Los errores son causados por un fallo del medidor en proporcionar lecturas actualizadas a la frecuencia definida y han resultado en la repetición de la última lectura de cada día. La ESR corrige el conjunto de datos para eliminar las lecturas duplicadas.
- El verificador evalúa las correcciones y comprueba si se identifican más errores en el conjunto de datos ampliando la muestra. El verificador confirma que el conjunto de datos está libre de errores materiales y continúa con la verificación como se define en el plan de verificación.

Ejemplo 4: Se trata de un ESR con unas emisiones totales de 700.000 tCO₂. EL umbral de materialidad en este caso sería de 35.000 tCO₂. Las instalaciones de la ESR incluyen la operación de un generador de respaldo alimentado por combustible fósil que contribuye al 8% de las emisiones totales. El consumo de combustible del generador se controla mediante un balance de combustible que comprende la determinación del stock de combustible al comienzo y al final del período anual y la determinación de todas las compras de combustible durante ese período. El stock máximo de combustible es equivalente a una cantidad de 1% de las emisiones del proyecto.

- Se comprueba que no existen errores materiales dentro de todos los demás datos requeridos para el cálculo de las emisiones, así como con respecto a la integridad, consistencia y plausibilidad de los datos de compra de combustible. Pero el registro del stock de combustible al final del período fue tomado manualmente por una sola persona sin ninguna evidencia que lo corrobore. Se comprueba, por otro lado, que la lectura del stock de combustible al comienzo del período de monitoreo es consistente con la que se encuentra al final del período anterior.
- Ante esta situación el verificador decide, para esta fuente de emisión concreta, centrarse en la integridad, consistencia y plausibilidad de los datos de compra de combustible. No prestará atención específica a las existencias de combustible, ya que incluso en el peor de los casos, cualquier incorrección provocaría un error significativamente menor al umbral de materialidad. Además, daría lugar a un error equivalente, pero de signo contrario, en el siguiente período.

Ejemplo 5: La ESR considerada tiene unas emisiones totales de 100,000 tCO₂ anuales. Considerando el umbral de materialidad del 5%, equivaldría a 5.000 tCO₂. Uno de los parámetros

utilizados para determinar las emisiones de la instalación es el peso del GNL que entra en la planta diariamente, mediante una báscula que pesa cada uno de los camiones que entran varias veces al día en la planta. Para los 365 días del año, se tienen 1040 pesadas. Los valores de peso de cada camión se presentan para su verificación en la hoja de cálculo de las emisiones y los registros están disponibles para las 1040 pesadas realizadas a lo largo del año. Estos valores se transfieren manualmente desde los registros de la báscula a la hoja de cálculo de las emisiones.

- El verificador evalúa los datos informados y encuentra que los valores de GNL informados son razonables y no hay valores atípicos que necesiten más investigación. Por lo tanto, el verificador aplica el muestreo para verificar que los valores de pesada de cada camión en la hoja de cálculo de las emisiones son consistentes con los registros de medición reales y selecciona una muestra aleatoria. Aplicando la fórmula de Cochran, con una probabilidad $p=5\%$ ($q=95\%$) y una materialidad del 5%, selecciona una muestra de 69 valores. Al no existir valores atípicos de GNL y ser una transferencia manual, no se espera una probabilidad alta de error.
- El verificador identifica que en ocho de los registros verificados se cometió un error al transferir los datos del registro de medición a la hoja de cálculo de las emisiones. Los errores identificados (errores tipográficos con algunos dígitos) representan un 10% del valor de la muestra, que tomado aisladamente tendría una materialidad por debajo del 5%. No obstante, suponemos que se trata de un error sistemático y, por lo tanto, la frecuencia de errores en la transferencia de datos puede ser al menos la misma en el conjunto de datos restante que se encuentra en la muestra. Así, el posible error en las emisiones totales sería material. Por lo tanto, se solicita a la ESR, a través de una no conformidad mayor, que corrija los errores identificados en la muestra y, una vez más, verifique los registros restantes y corrija cualquier error adicional.
- La ESR presenta una nueva hoja de cálculo de las emisiones revisada en la que se corrigieron los ocho errores identificados además de otros 15 valores. Para verificar aún más el conjunto de datos, el verificador selecciona una muestra aleatoria adicional de 30 valores ($p=2\%$, $q=98\%$) del conjunto de datos restante. El verificador identifica que para uno de los registros muestreados, el valor se transfirió erróneamente a la hoja de cálculo de las emisiones. El error identificado (errores tipográficos con algunos dígitos) representa una materialidad del 3% por debajo del umbral del 5%.
- Se solicita a la ESR, a través de una no conformidad menor, que corrijan el error identificado en la segunda muestra y una vez más verifiquen los registros restantes y corrijan cualquier error adicional. Los participantes del proyecto presentan una nueva hoja de cálculo de las emisiones revisada en la que se corrige el error identificado. El verificador decide no realizar más verificaciones y no selecciona otra muestra. La razón es que, aunque existieran más errores en el conjunto de datos restante no verificado, al aplicar la materialidad calculada para el valor de GNL identificado en la muestra de registros (un 3%) al valor del GNL restante, el error en el cálculo de las emisiones es inferior a 5.000 tCO₂. Por lo tanto, cualquier posible incorrección restante en los valores de GNL reportados no tendría un impacto material en las emisiones totales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SEMARNAT – Dirección general de Políticas para el Cambio Climático, 14/05/2018. *Criterios para la verificación de los reportes de Emisiones de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero en el marco del Registro Nacional de Emisiones.*
2. SEMARNAT – Dirección general de Políticas para el Cambio Climático, 14/05/2018, ANEXO 2 – *Contenido del Plan de Verificación (Anexo 2 de los Criterios para la verificación de los reportes de Emisiones de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero en el marco del Registro Nacional de Emisiones).*
3. SEMARNAT, 03/09/2015. *ACUERDO que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero.*
4. ISO 2859-1:1999 *Sampling procedures for inspection by attributes — Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection.* Traducida en la norma UNE ISO 2859-1:2012 (Corregida 2014) *Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos – Parte 1: Planes de muestreo para la inspección lote por lote, tabulados según el límite de calidad de aceptación (LCA).*
5. ISO 2859-2: 1985 *Sampling procedures for inspection by attributes — Part 2: Sampling plans indexed by limiting quality (LQ) for isolated lot inspection.* Traducida en la norma UNE ISO 2859-2:2012 (corregida 2014) *Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos – Parte 2: Planes de muestreo para la inspección de lotes independientes, tabulados según la calidad límite (CL).*
6. W.G. COCHRAN, Professor of Statistics, Emeritus Harvard University (1977). *Sampling Techniques. Third edition.* John Wiley & Sons.
7. *Guideline Sampling and surveys for CDM project activities and programmes of activities Version 04.0.* CDM-EB67-A06-GUID. Clean Development Mechanism, UNFCCC.
8. *Guideline Application of materiality in verifications Version 02.0.* CDM-EB69-A06-GUID. Clean Development Mechanism, UNFCCC.
9. ICDE INFRAESTRUCTURA COLOMBIANA DE DATOS ESPACIALES. *Guía de Implementación para la Elaboración de Muestreos.* Un proyecto de la Embajada de Suiza en Colombia, Cooperación Económica y Desarrollo (SECO)
10. EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL CLIMATE ACTION. *Guidance Document The Accreditation and Verification Regulation – Sampling.* AVR Key guidance note No. II.4, Version of 15 November 2012.
11. *NORMA INTERNACIONAL DE AUDITORÍA 530, MUESTREO DE AUDITORÍA (NIA ES 530).* adaptada para su aplicación en España mediante Resolución del Instituto de Contabilidad y Auditoría de Cuentas, de 15 de octubre de 2013.
12. F. J. Ariza López, J. Rodríguez Avi (2014). *Aplicación de las normas ISO 2859-1 e ISO 2859-2 en el control posicional de suministros de datos espaciales, aplicación al caso de puntos y líneas.* Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría y Departamento de Estadística e Investigación Operativa del Campus "Las Lagunillas" Universidad de Jaén. 23071, Jaén. España.
13. CUADERNOS TÉCNICOS Junio 2014, Suplemento de la revista Auditores nº 21, *Conceptos Básicos de Muestreo.* Instituto de Censores Jurados de Cuentas, España.
14. L.A. Garavito Herrera. *Preparación de un Plan de Muestreo para la auditoría de proyectos de desarrollo tecnológico.* Revista Ingeniería e Investigación, nº.54, Mayo de 2004.