

Preparación de un plan de muestreo para la auditoría de proyectos de desarrollo tecnológico

Luis Antonio Garavito Herrera*

Sampling in audit

RESUMEN

Se presenta un plan de muestreo para auditoría e inventoría de proyectos de desarrollo tecnológico. Se plantea un esquema general de los proyectos relevantes del muestreo, cuáles deben tenerse en cuenta, un procedimiento para determinar el tamaño y la selección de la muestra y calcular algunas estadísticas inferenciales acerca de la población muestreada. Es una combinación de técnicas tradicionales de muestreo estadístico y muestreo para aceptación en control de calidad.

ABSTRACT

One of the most important things in auditing project of technology development is guarantee that the products of the project are agreeing with the specifications and the expectation of the owner. In some case is unpractical to examine all the component or documentation in the project. Then if that element for examine have some characteristic or properties, is possible to take a sample and make inferences about the work with a risk under control. In this document is combine the main elements for take a sample in statistic point of view, and a standard process of defined the size of the sample, the methodology of selection and the way of make inferences about the population from the sample.

PALABRAS CLAVES

Proyectos, auditoría tecnológica, muestreo, muestreo para aceptación.

* Profesor asistente de la Facultad de Ingeniería, Departamento de Sistemas e Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. lagaravito@unal.edu.co.

INTRODUCCIÓN

El objeto de este artículo es dar pautas a los auditores de proyectos para estructurar de una manera técnica planes de muestreo para auditoría, e incluso —cuando sea relevante— en interventoría de proyectos de desarrollo tecnológico. Este diseño se presenta como una herramienta práctica que no requiere un entrenamiento profundo en matemáticas o estadística. Se pretende crear un procedimiento sistemático que guíe la elaboración de planes de muestreo para seleccionar facturas, órdenes de pago, comprobantes de egresos, hojas de vida y documentos de proyectos que sean copiosos, costosos en su revisión y homogéneos entre sí.

Se pretende dar pautas para establecer diseños muestrales y recopilar información en auditoría de proyectos, bien sea de los documentos que conforman la fase de preparación, de los soportes documentales de la fase de ejecución o de secciones del proyecto (cuando esto se pueda o aplique) o en la revisión de la fase de cierre de los elementos antes mencionados. Se busca presentar una herramienta práctica, pero lo suficientemente sustentada como para tomar decisiones con riesgos calculados. Lo presentado en este documento recoge la experiencia recolectada haciendo auditoría e interventoría a proyectos de desarrollo tecnológico para el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, al cual se presentan proyectos para financiar a través del Fondo para la Modernización y Desarrollo Tecnológico de las Mipymes (Fomipyme).

PROBLEMÁTICA EN LA AUDITORÍA DE PROYECTOS

Por definición, un proyecto es un esfuerzo temporal y sistemático que se realiza para conseguir un único producto o servicio¹. Por diversas razones, es necesario contratar la planeación, la ejecución o el cierre del proyecto, con una o varias firmas o instituciones especializadas, dependiendo del tipo de proyecto. La contratación se hace bien sea por razones de practicidad, o porque el contratante o “dueño” del proyecto no tiene la

experiencia o la capacidad de realizarlo². En una u otra forma se contratan auditores e interventores de proyecto que garanticen el logro de los objetivos planteados y que la necesidad que busca satisfacer el proyecto quede plenamente satisfecha.

Los proyectos de desarrollo tecnológico buscan generar innovación dentro de las organizaciones o comunidades, como por ejemplo crear un nuevo producto, un nuevo proceso, aumentar el rendimiento, disminuir los costos de producción o de manejo, etc. En cualquier caso, es la aplicación del conocimiento en aras de mejorar los sistemas de producción de bienes o servicios.

Se requiere, entonces, crear un papel dentro de la gestión del proyecto que garantice la calidad de los productos o servicios obtenidos. Este papel representa los intereses del contratante, de la sociedad y del ecosistema, como elementos que circunscriben cualquier proyecto y que enmarcan lo que deben o no hacer los ejecutores del proyecto. En algunas ocasiones, esta responsabilidad obliga a que los auditores o interventores de proyecto se vean forzados a verificar y monitorear *todos* los productos, documentos y actividades relacionados con la planeación, ejecución y cierre de un proyecto.

No obstante, existen procedimientos administrativos, técnicos o contables en el desarrollo de un proyecto, que se hacen de manera repetitiva, cuyos resultados son homogéneos y se hace por fases o etapas claramente delimitadas tanto en el tiempo como en cantidad. Por ejemplo, facturas que se pagan por materias primas o insumos para el proyecto, órdenes de pago, listas de personas capacitadas, listas de personas asesoradas, ensayos realizados a una pieza, corridas de prueba que se hacen en una máquina, cartas, comunicaciones, actas de reuniones, etc. La auditoría o interventoría debe revisar todo esto y pronunciarse acerca de su conveniencia y calidad, de manera tal que el proyecto cumpla con los objetivos propuestos. En algunos casos, el seleccionar y revisar *todas* las facturas, *todas* las actas de reunión, *todos* los registros de ensayos, etc., no es

1. Adaptado del Project Management Institute, *A Guide To The Project Management Body of Knowledge*, 2000.

2. Por contrato se entiende el acto por el cual una parte se obliga para con otra a dar, hacer o no hacer alguna “cosa”. La persona que se obliga a hacer el proyecto o parte de él se llamará ejecutor. La persona que encarga el proyecto o parte de él se llamará el contratante.

práctico o posible. Por esto se debe acudir a inferencias sobre una fase del proyecto o una actividad, con base en muestras extractadas de documentos o piezas convenientes, que reflejen el rendimiento o la calidad del trabajo. En consecuencia, surgen varias preguntas:

1. ¿Qué debo seleccionar?
2. ¿Cuántos debo escoger?
3. ¿Cuáles debo escoger?
4. ¿Cómo debo proceder una vez que tenga la muestra?

La primera pregunta es muy difícil responderla, ya que por definición un proyecto puede ser de muchos tipos y depende, primero, de la experiencia y capacidad del auditor o interventor, y segundo, del tipo de proyecto en que se trabaje. Las preguntas 2, 3 y 4 son las que enmarcan este documento.

A través de la auditoría e interventoría de proyectos se busca crear un medio para cumplir con los objetivos del proyecto y para que los impactos, así como los resultados, se puedan garantizar. Por tal razón es necesario identificar cualquier falencia en la gestión del proyecto y su ejecución, con el ánimo de tomar las medidas de control necesarias. Por ello se deben detectar problemas en cualquier fase del proyecto, determinar la severidad del mismo y, si es del caso, detener el proyecto o trazar un plan de ajuste, decisión que se toma de acuerdo con el orden de prioridades del ejecutor. Un problema en un trabajo se puede definir como una disconformidad con respecto a las especificaciones del trabajo o una falta de concordancia con la propuesta presentada. Ahora bien, los problemas se pueden clasificar por su gravedad y de manera obvia el plan de muestreo debe tener en cuenta estas diferencias.

Por lo anterior, el juicio emitido por el auditor o interventor acarrea una serie de efectos que pueden perjudicar no solamente la reputación de un ejecutor, sino acarrear acciones jurídicas de difícil solución. En consecuencia, existen dos escenarios que se estructuran como en una prueba de hipótesis:

- i. No suspender un proyecto o trabajo que tiene una mala ejecución (Error de tipo I).
- ii. Suspender un proyecto o trabajo que es bien ejecutado (Error de tipo II).

En conclusión, se debe crear un procedimiento para proteger al ejecutor de que le suspendan el proyecto

cuando sólo tiene fallas leves, que el contratante pueda suspender su proyecto cuando el ejecutor lo esté ejecutando mal, proteger a la sociedad de proyectos que puedan perjudicarla durante la ejecución, así como minimizar los costos de administración, inspección y muestreo. Se debe generar un procedimiento que identifique las fallas o problemas que se pueden presentar durante la ejecución de un proyecto, en actividades en donde existen tareas repetitivas y numerosas. Es necesario aclarar que en todo proyecto hay actividades que por sus características, la labor de interventoría debe hacerse de manera tal que se revisen todos los pasos para elaborarla, por lo que un muestreo de cualquier clase no aplica.

MUESTREO PARA AUDITORÍA DE PROYECTOS

En un proyecto existen algunas actividades en donde se elaboran documentos, pruebas o tareas que son repetitivos, numerosos y se agrupan por algún criterio en particular a manera de lotes. Las facturas se clasifican por meses, las actas de reuniones se pueden clasificar por secciones, dependencias o incluso fechas, si se habla de entidades que financian o patrocinan proyectos, los cuales se pueden clasificar por convocatorias o por licitaciones (que constituyen las poblaciones por muestrear). En cualquiera de esos casos se requiere hacer una verificación de la calidad con la que se realiza el trabajo, aunque en la mayor parte se pueden presentar las siguientes situaciones:

- i. Los elementos que hay que revisar son numerosos y su revisión completa excede los recursos disponibles. En todos los casos siempre se trabaja con conjuntos finitos.
- ii. En gestión de proyectos, no existen restricciones en el acceso a la información para un auditor o interventor, pero sí es muy común manejar datos confidenciales que no permiten tener equipos muy numerosos para la revisión documental o de las actividades del proyecto. Además, equipos de auditores o interventores muy grandes (con respecto al tamaño del proyecto) entorpecen la ejecución de las tareas propias del proyecto.
- iii. Los elementos por revisar son relativamente homogéneos entre sí, es decir, deben tener característi-

cas comunes y todos son comparables con un mismo criterio.

Por ello el muestreo en este tipo de casos se convierte en una herramienta práctica y por demás necesaria. En este caso, el muestreo se haría con el ánimo de detectar posibles fallas y que el ejecutor las corrija o que el proyecto se suspenda. Es necesario diseñar un plan de muestreo por atributos, ya que se busca identificar trabajos que pasan ciertos criterios de los que no, se acepta o se rechaza. Es una situación dicotómica y nos interesa saber cuántos hay en cada clase.

Como es necesario determinar el riesgo que se toma, se requiere estructurar un procedimiento de muestreo probabilístico. Para que un muestreo sea probabilístico debe reunir ciertas propiedades, que en el procedimiento presentado se cumplen (Särndal, 1991). Para ello se debe definir un marco muestral³, que permita identificar cada uno de los elementos de la población. El marco muestral debe reunir las siguientes propiedades⁴:

- Todos los elementos por muestrear deben estar marcados con un código o número que no se repita para ningún miembro de la población.
- Es necesario destacar que cada elemento de la población debe estar disponible al momento de la interventoría o auditoría, ya que de ser seleccionado en la muestra debe necesariamente ser extraído y revisarse (es necesario ser incisivo, debe ser ese y no otro).
- Las unidades que hay que muestrear deben estar ordenadas de manera tal que facilite su localización.
- Cada uno de los elementos de la población debe contener la información que se requiere para emitir el concepto de si es conforme o no.
- Cada elemento de la población por muestrear debe estar presente tan sólo una vez.
- Ningún documento o elemento ajeno a la población por muestrear debe estar dentro del marco.
- Todos los elementos de la población por muestrear deben aparecer en el marco.

3. Se denomina así al artilugio que permite identificar y delimitar en forma adecuada a los elementos de la población.

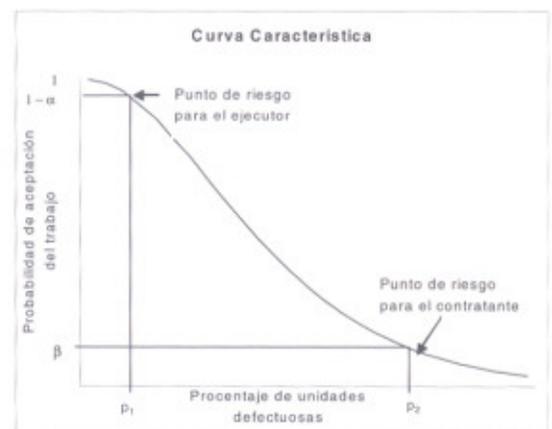
4. Adaptado de Särndal y Ospina.

El diseño muestral que se va a utilizar es el muestreo aleatorio simple (MAS), sin remplazo. Es decir, una vez que se definen el tamaño de la población y de la muestra, la manera como se extraerá cada elemento es MAS, y cada unidad seleccionada se separará y se mantendrá separada hasta que se saque toda la muestra. Esto garantiza que los elementos de la muestra sólo puedan sacarse una vez.

Riesgos

Cuando se realiza un proceso de muestreo existen dos papeles principales: uno es el ejecutor, quien es el que elabora el proyecto, y el otro es el contratante, quien es el que hace el encargo en el auditor o en el interventor, para que verifique la calidad del trabajo. Como se utiliza un procedimiento de muestreo que no chequea todos los elementos de la población, se está expuesto a riesgos.

Existe el riesgo del ejecutor, que se puede medir como la probabilidad de que se rechace un trabajo bien hecho, que forma parte del proyecto, como resultado del plan de muestreo. Se representará este riesgo como α , que en otras palabras es la probabilidad de que el contratante rechace un trabajo cuya proporción de elementos malos no es mayor que p_1 . Esto es comparable con lo que en muestreo para aceptación se define como nivel de calidad aceptable. Por otra parte está el riesgo del contratante, que denotaremos con β , que es la probabilidad de aceptar un trabajo que en realidad está mal hecho, o lo que es lo mismo, la probabilidad de aceptar un trabajo cuya proporción de elementos malos es mayor o igual que p_2 . Este se establece tratando de es-



tablecer una definición numérica de calidad rechazable o cantidad de unidades defectuosas toleradas en el lote. Lo que en el fondo se desea hacer es una prueba de hipótesis, donde α y β son el error de tipos I y II, respectivamente, y la hipótesis nula es que la fracción defectuosa es igual a p_1 , mientras que la alternativa es que es igual a p_2 .

Para poder observar esto de manera gráfica se pueden diseñar las llamadas curvas características, que son un gráfico de la fracción defectuosa de elementos de un trabajo, en función de la probabilidad de que el plan de muestreo acepte el lote.

En aras de aclarar la situación, la distribución de probabilidad adecuada para modelar este fenómeno será la distribución binomial⁵; sin embargo, en la práctica el combinatorio sería, en algunos casos, difícil de calcular. Por tanto, se utiliza una aproximación a la distribución de Poisson, con parámetro $\lambda = np$. Donde n es el tamaño de la muestra y p la fracción defectuosa en el trabajo. Ahora, podemos pensar que si fijamos α y β en valores que se consideren convenientes para la auditoría, y fijados también p_1 y p_2 , sólo restaría calcular una constante que llamaremos c , que es el número máximo de unidades defectuosas en el trabajo a partir del cual consideramos rechazarlos en su totalidad. Y obviamente nos faltaría establecer el tamaño de la muestra. Para ello, y suponiendo que las condiciones se dan (para que la aproximación sea adecuada), aproximamos la distribución binomial por la Poisson y podemos usar las siguientes ecuaciones.

$$P(X \leq c) \equiv \sum_{x=0}^c \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} = 1 - \alpha, \text{ donde } \lambda \text{ sería } np_1, \text{ y}$$

$$P(X \leq c) \equiv \sum_{x=0}^c \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} = \beta, \text{ donde } \lambda \text{ sería } np_2$$

Se tienen dos ecuaciones y dos incógnitas, n y c , pero solucionar estas dos ecuaciones es muy difícil (para no

decir imposible), ya que n es el tamaño de la muestra y c es el número de elementos malos en la muestra a partir del cual rechazamos todo el trabajo, y son valores que deben ser estrictamente enteros. En control de calidad ya enfrentaron este problema y lo que se hace es una aproximación aceptable, que es la forma como se determinan el tamaño del lote y el número máximo de elementos defectuosos permitidos, los cuales están tabulados en tablas especializadas que se encuentran en cualquier texto de control estadístico de calidad y que presentaremos a continuación con algunos ajustes.

MUESTREO PARA ACEPTACIÓN

Dadas las características del problema, es necesario hacer un procedimiento de muestreo que permita seleccionar una muestra de una población de tamaño conocido. El procedimiento presentado debe ser tan simple que cualquier auditor lo pueda implementar con facilidad. La idea es hacer muestreo para aceptación de un trabajo realizado. Este es un plan de muestreo por atributos, con un proceso de muestreo doble. Se puede generar un proceso a partir de las ecuaciones anteriores y fijar un procedimiento para el muestreo para aceptación del trabajo, pero por experiencia estos procedimientos son muy discutidos y difíciles de explicar. Por ende, se apela a la presentación de un procedimiento estándar, que esté tabulado en múltiples fuentes y que sea de fácil recordación; se adoptará un procedimiento estándar de muestreo, que es la ISO-2859⁶, con algunos elementos adicionales.

Procedimiento

El procedimiento para hacer el muestreo se presenta a continuación y es el que se sugiere para inspecciones de trabajos repetitivos en proyectos, por parte de auditores o interventores. Éste tiene algunas adaptaciones a la ISO-2859, en aras de especificar mejor el procedimiento.

5. Es como si se extrajera una muestra de tamaño n , de una población de tamaño conocido N , que tienen dos características: unos son buenos y otros malos; lo que queremos es calcular la probabilidad de aceptar un trabajo, dado que la proporción de artículos defectuosos es p (conocido) y que el número máximo de artículos defectuosos es menor o igual que c . Esto se modela con la siguiente expresión:

$$P(X \leq c) = \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

6. Basada en las MIL-STD-105D.

Decisión acerca del AQL

Se determina el nivel aceptable de calidad o AQL⁷, el cual es fijado por el auditor. El AQL presentado en la mayoría de las tablas varía de 0,10 a 10%, con incrementos de 0,05%. Corresponde al porcentaje de unidades máximas defectuosas que se aceptará, y que corresponde a su vez a la fracción defectuosa que se explicó previamente. En otras palabras, es el número máximo de defectuosos por cada cien elementos de la población.

Decisión del nivel general de inspección de inspección

Dependiendo de la necesidad del auditor, se determina el nivel de inspección (que establece la relación entre el tamaño de la población y la muestra por seleccionar). Se presentan tres niveles de inspección: el nivel II se considera normal, el nivel I se considera cuando se requiere menos selección, y el nivel III cuando se requiere una selección mayor.

Definición de la población

Es lo que se había definido previamente como marco muestral. Se toman todos los elementos de la población, los cuales deben estar ordenados y marcados con algún código que no se repita para ningún elemento de la población. Por ejemplo, las facturas tienen un número que no se duplica, las actas de reuniones deben estar numeradas de acuerdo con el orden cronológico en que se hicieron, los ensayos deben tener un número de registro dependiendo de cómo y cuándo se hicieron, etcétera.

Determinar el código para el tamaño de la muestra

Se obtiene el código para definir el tamaño de la muestra de la tabla adjunta.

Decisión del tipo de muestreo

Existen tres posibilidades: muestreo simple, en donde se selecciona un tamaño de muestra n_1 , se extrae y se

Tamaño del trabajo, lote o población por muestrear	Nivel general de inspección		
	I	II	III
2 a 8	A	A	B
9 a 15	A	B	C
16 a 25	B	C	D
26 a 50	C	D	E
51 a 90	C	E	F
91 a 150	D	F	G
151 a 280	E	G	H
281 a 500	F	H	J
501 a 1200	G	J	K
1201 a 3200	H	K	L
3201 a 10.000	J	L	M

decide si el trabajo pasa o no; muestreo doble, cuya esencia es que se selecciona una muestra de tamaño n_1 , y si éste contiene un número de piezas defectuosas menor o igual que un parámetro c_1 , se acepta, y si está en un rango entre c_1 y c_2 , se selecciona una segunda muestra (sin remplazo) de tamaño n_2 , y se rechaza si en esta segunda muestra está por encima de un valor c_3 . Aunque existen otros tipos de muestreos, no se recomienda su uso, debido a la problemática expuesta en donde el resto de procedimientos podrían ser más laxos, ya que no se rechaza un trabajo sino hasta que se hacen muestreos secuencias (la extensión del muestreo doble a tres o más etapas). En consecuencia, se escoge entre un muestreo simple y uno doble.

Definición del tamaño de la muestra

Una vez definidos el AQL, el nivel de inspección, el código para el tamaño de la muestra y el tipo de muestreo, se busca la tabla conveniente en las Mlt-Std-105D (tablas anexas). Luego se determina el tamaño de la muestra que hay que extraer y se toma nota de los valores a los cuales se acepta el trabajo y de los valores a los cuales se rechaza el trabajo. Para ello se procede buscando la tabla para el tipo de muestreo requerido (sencillo o doble) y el plan de inspección determinado es el nivel normal⁸ (que corresponden a las tablas que se anexan).

7. Por su sigla en inglés: Acceptable Quality Level (AQL).

8. Aunque existen diferentes planes de inspección como el severo y reducido, se considera que éstos no son convenientes para auditoría tecnológica por lo laxos en el primer caso, y por ser demasiado exigentes en el otro; tampoco se considera pertinente el cambio entre planes de inspección, por lo que sólo se considerará una inspección normal.

Una vez ubicada la tabla, en las columnas se busca el AQL escogido, y por filas se busca la letra código del tamaño de la muestra. Después de ubicar la fila y la columna, se observa la columna de tamaño de la muestra y las celdas en donde se determina a partir de cuántas unidades rechazo el trabajo y con cuántas unidades defectuosas lo acepto.

Técnica de selección

Una vez definido el tamaño de la muestra, es necesario ordenar la población por el código asignado. A cada elemento se le asigna un número aleatorio, bien sea en una hoja electrónica, con una calculadora de bolsillo o con una tabla de números aleatorios. Luego se ordenan los códigos de los elementos en orden ascendente (o descendente) del número aleatorio y se seleccionan los primeros n elementos, es decir, el número de elementos que se establecieron en el paso anterior.

Medición

Se hace la medición, ensayo o estudio que se requiere para establecer si los elementos seleccionados son o no aceptables o se consideran deficientes. Independientemente del procedimiento estratégico que debe iniciar el auditor o interventor, después de hacer el muestreo se debe llevar un conteo de los elementos defectuosos encontrados en la muestra para poder realizar el siguiente paso. Los cálculos posteriores se deben hacer una vez que se termine el muestreo; si el muestreo es doble, sólo se deben calcular las estadísticas cuando se tengan los datos de la segunda muestra.

Análisis estadístico

Las variables para este tipo de muestreo reflejan cuál es la proporción de elementos en la población revisada que tienen problemas o son no conformes. Para establecer inferencias acerca de la población, se procede así:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{Si el elemento revisado es no conforme} \\ 0 & \text{Si el elemento revisado es conforme} \end{cases}$$

El número total de elementos no conformes en la población son $X = \sum_{i=1}^N x_i$, el cual no conocemos (por no haber realizado un censo), pero por el procedimiento de muestreo aplicado podemos estimarlo. Primero calculamos la proporción poblacional de elementos defectuosos, usando $p = \frac{a}{n}$, donde p es la proporción de defectuosos de la muestra, a son la cantidad de defectuosos obtenidos en la muestra y n es el tamaño de la muestra. Para estimar el número de defectuosos en la población, debemos tener en cuenta N o tamaño total de la población, para poder usar:

$$\hat{X} = Np = \frac{N}{n} a$$

La proporción de elementos problema en la población, si se hubiese hecho un censo, se puede calcular así:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = \frac{X}{N}$$

Para calcular la varianza y desviación estándar poblacional (si se hubiese hecho un censo) se procede desde la definición de varianza, así:

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N-1} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 - N\bar{X}^2}{N-1} \\ &= \frac{NP - NP^2}{N-1} = \frac{N}{N-1} P(1-P) \\ &= \frac{N}{N-1} PQ \end{aligned}$$

Donde Q es igual a $1-P$. La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza. Pero como lo presentado aquí es un procedimiento de muestreo, debemos calcular estimadores tanto de la varianza, como de la desviación estándar de la estimación de elementos defectuosos en la población, para lo cual se usa:

$$\begin{aligned} \text{var}(\hat{X}) &= N(N-n) \frac{PQ}{n-1} \\ \text{de}(\hat{X}) &= \sqrt{\text{var}(\hat{X})} \end{aligned}$$

Donde N , n y p son como antes y $q = 1-p$. Ahora calcularemos un intervalo de confianza para la estimación de número de defectuosos en la población, para lo cual usamos:

$$IC(\hat{X}) = \hat{X} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} * dc(\hat{X})$$

Donde IC es el intervalo de confianza, \hat{X} corresponde a la estimación de los elementos defectuosos, $dc(\hat{X})$ es la desviación estándar de la estimación de la cantidad de elementos defectuosos de la población. Ahora, $t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$ corresponde al punto crítico (percentil) $1-(\alpha/2)$ de la distribución t-student con n-1 grados de libertad; α corresponde al error de tipo I (antes descrito), cuyos valores más comunes son 1%, 5% o 10%; en este punto hay que tener extremo cuidado, porque este valor está virtualmente en cualquier libro en donde se hable de distribuciones de probabilidad y hay que observar en las convenciones de la tabla qué tipo de información es la que se presenta. La demostración de estas fórmulas no se hará porque están elaboradas en la mayoría de los libros de muestreo, en particular en Ospina 2001, capítulo 2.

CONCLUSIÓN

Dada la responsabilidad que tiene un auditor o un interventor de proyectos, tanto porque son responsables de que el proyecto tenga un feliz término, como también para proteger los intereses del Estado y sobre todo de la sociedad, es necesario contar con herramientas adecuadas que apoyen su labor. Es indiscutible la necesidad de muestreo en estas actividades, para poder determinar si un proyecto se debe detener o deben corregirse algunos trabajos. Por esta razón se presentan metodologías para hacer el alistamiento del muestreo, calcular el tamaño de la muestra, seleccionar la muestra y calcular las estimaciones correspondientes sobre la población.

Pese a lo anterior, la intuición, la experiencia y el instinto son más eficientes que los censos, en algunos casos. Sin embargo, procedimientos estadísticos dan confiabilidad a las decisiones y dan un soporte robusto para cuando se deban tomar decisiones. Esto brinda

tranquilidad en proyectos millonarios o en donde se pongan en riesgo la credibilidad, recursos económicos e incluso recursos naturales. En el monitoreo y control del desarrollo de proyectos, el muestreo es una herramienta necesaria, y por experiencia en proyectos de infraestructura y de desarrollo tecnológico, son múltiples las áreas de aplicación.

REFERENCIAS

- Churchill, Gilbert, Iacobucci, Dawn, *Marketing Research*, Ohio, USA, Thomson Learning, 2002.
- Duncan, Acheson J., *Control de calidad y estadística industrial*, México, Alfaomega, 1996.
- Grant, Eugene Lodewick, Leavenworth, Richard S., *Control estadístico de calidad*, 2a. ed., México, Cecsca, 1996.
- Juran, Joseph M., *Manual de control de la calidad*, 4a. ed., Madrid, McGraw Hill, 1993.
- Kume, Hitoshi, *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad*, Bogotá, Norma, 1992.
- McRae, Thomas W., *Muestreo estadístico para auditoría y control*, México, Limusa, 1978.
- Ospina, David, *Introducción al muestreo*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2001.
- Parra, José, *El contrato de interventoría*, Bogotá, Ediciones Jurídicas Gustavo Ibáñez Ltda., 2002.
- Särndal, Carl, Swensson, Bent, Wretman, Jan, *Model Assisted Survey Sampling*, Nueva York, Springer-Verlag, 1991.
- <http://iew3.technion.ac.il/sqconline> Tablas de las MIL-STD-105D en Internet

ANEXOS

Tablas de la MIL-STD-105D para muestreo simple y dobles, con un nivel de inspección normal. Extraído de Acheson J. Duncan, *Control de calidad y estadística industrial*, México, Alfaomega, 1996. Pero se encuentran de manera gratuita en <http://iew3.technion.ac.il/sqconline>.

Tabla muestra para inspección normal I. Muestreo sencillo (mil. Std. 105D, Tabla IIA)

Letra código del tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra	Niveles aceptables de calidad (inspección normal)																				
		0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40	65	100
		Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
D	6	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
I	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
K	125	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
L	200	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
M	315	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
N	500	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
P	800	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
Q	1250	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
R	2000	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	

 = Use el primer procedimiento de muestreo arriba de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o mayor que el del lote o conjunto, hágase inspección al 100 por ciento
 = Use el primer procedimiento de inspección abajo de la flecha.

Ac = Número de aceptación
 Re = Número de rechazo

Tabla muestra para inspección normal I. Muestreo doble (Mil. Std. 105D, Tabla III-A)

Letra código del tamaño de la muestra	Muestra	Tamaño de la muestra	Tamaño de muestra acumulada	Niveles aceptables de calidad (inspección normal)																						
				0,010	0,015	0,025	0,040	0,065	0,10	0,15	0,25	0,40	0,65	1,0	1,5	2,5	4,0	6,5	10	15	25	40				
				Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re			
A				↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↓	↓	*	*						
B	primera segunda	2 2	2 4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5					
C	primera segunda	3 3	3 6	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7					
D	primera segunda	5 5	5 10	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9				
E	primera segunda	8 8	8 16	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13			
F	primera segunda	13 13	13 26	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19		
G	primera segunda	20 20	20 40	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	
H	primera segunda	32 32	32 64	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	↑
J	primera segunda	50 50	50 100	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	↑
K	primera segunda	80 80	80 160	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	↑
L	primera segunda	125 125	125 250	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	↑
M	primera segunda	200 200	200 400	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	↑
N	primera segunda	315 315	315 630	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	↑
P	primera segunda	500 500	500 1000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	↑
Q	primera segunda	800 800	800 1600	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	↑
R	primera segunda	1250 1250	1250 2500	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↑	↓	0 2 1 2	0 3 3 4	1 4 4 5	2 5 6 7	3 7 8 9	5 9 12 13	7 11 18 19	11 16 26 27	↑

 = Usese el primer procedimiento de muestreo arriba de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o mayor que el del lote o conjunto, hágase inspección al 100 por ciento
 = Usese el primer procedimiento de inspección abajo de la flecha.

Ac = Número de aceptación
 Re = Número de rechazo
 * = Usese el correspondiente procedimiento de muestreo doble