

# REVISTA INDUSTRIAL 4.0

Carrera de Ingeniería Industrial



Edición Digital Nro. 3  
Noviembre 2021



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Lic. Oscar Heredia                      Rector  
Phd. Maria Garcia Moreno          Vicerectora  
Ing. Hebert Pinto                      Decano a.i. Facultad de Ingeniería  
Ing. Franz Zenteno Benitez        Director de Carrera Ingeniería Industrial

Revista Industrial 4.0  
Edición Digital N° 3 Noviembre 2021

Comite Editor:

Ing. Fernando Sanabria Camacho  
Ing. Grover Sanchez Eid  
Ing. Mario Zenteno Benitez  
Ing. Mónica Uria Humerez

Diseño Versión Impresa & Web:  
Ing. Enrique Orosco Crespo

Imprenta:  
Walking Graf

Deposito Legal:  
4-3-68-20

Web:  
<http://industrial.umsa.bo/revista-industrial-4.0>  
Email:  
[revistaindustrial4.0@umsa.bo](mailto:revistaindustrial4.0@umsa.bo)

Direccion:  
Av. Mcal. Santa Cruz, Plaza Del Obelisco.  
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería.  
Tel. 2205000 - 2205067 Int. 1402



## PRESENTACIÓN

Está concluyendo la gestión 2021, con todas las dificultades para desarrollar las actividades académicas por la situación epidemiológica que atraviesa la humanidad, cumpliendo con los objetivos planteados en formación, investigación e interacción social que tiene la Carrera de Ingeniería Industrial en su conjunto.

El presente número de la Revista Industrial 4.0, publicación semestral, recoge los trabajos realizados por los investigadores -docentes y universitarios- que llevaron adelante en estos meses con una labor dedicada para salvar cualquier dificultad que se presenta, con temas sobre seguridad industrial, manufactura esbelta, acreditación, competitividad empresarial, operaciones unitarias y control de calidad.



Por la heterogeneidad de los temas que son tratados, la revista tiene como público objetivo a lectores de diferente formación como los universitarios, docentes, investigadores, graduados, ingenieros de diferentes especialidades y comunidad científica en general.

Ingeniería Industrial de la Universidad Mayor de San Andrés lleva adelante la preparación de un Congreso Interno, donde se actualizará el plan de estudios, contenido de las materias, definición de líneas de investigación de los institutos de investigación y definir políticas de relacionamiento con las entidades estatales y con las empresas públicas y privadas. Actividades que generan oportunidades para llevar adelante nuevas investigaciones y mantener las que actualmente se ejecutan, y se tiene la presente publicación para su difusión.

Reiterar la invitación para que en el siguiente número se presenten trabajos desarrollados por docentes y estudiantes de la carrera y sus programas que están en La Paz y los desconcentrados en San Buenaventura y Caranavi.

Agradecer a los miembros del Comité Editor, que realizan una labor profesional y ética en la revisión de todos los artículos que postulan para ser publicados en la presente revista.

Ing. MBA. Franz José Zenteno Benítez  
**DIRECTOR**  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# DETECCIÓN DE FALLAS A TRAVÉS DE CRONOGRAMAS DE INSPECCIÓN

**Nelson Condorena Avila**, ORCID: 0000-0002-2415-8932  
Ingeniero Mecánico – Universidad Mayor de San Andrés  
[nelsoncondorenaavila@gmail.com](mailto:nelsoncondorenaavila@gmail.com)  
Celular: 60146178

Recibido: 4 de octubre; aprobado: 17 de noviembre

## RESUMEN

La identificación oportuna de anomalías en equipos industriales es de vital importancia para la planificación y programación de mantenimientos de carácter preventivo o correctivo para cualquier empresa, tal es el caso de la industria cementera, ya que una anomalía mal detectada o no detectada a tiempo podría incurrir en pérdidas importantes de recursos económicos para la organización. En ese entendido el presente trabajo muestra, la influencia que tiene el manejo de cronogramas de distribución de rutas de inspección para la detección de anomalías en equipos industriales y su posterior intervención de mantenimiento. Se realizó una investigación aplicada con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental para validación de hipótesis, tomando como referencia en el estudio, los equipos de la sección de molienda en la planta de cemento VIACHA de la empresa SOBOCE. Para dicho estudio, los operadores de producción realizaron las inspecciones de rutina de 78 equipos industriales, durante 10 semanas sin cronogramas de distribución de rutas, y durante otras 10 con cronogramas de distribución de rutas de inspección. Mediante un análisis estadístico de muestras pareadas (análisis de una cola), y un nivel de confianza del 95% se determinó que: La tasa de detección de fallas con cronogramas de distribución de rutas para inspección es significativamente mayor que la tasa de detección de fallas sin cronogramas de distribución de rutas.

**PALABRAS CLAVE:** Anomalía, Mantenimiento, Cronograma, Inspección, Industria cementera.

## **ABSTRACT**

The timely identification of anomalies in industrial equipment is of vital importance for the planning and scheduling of preventive or corrective maintenance for any company, such is the case of the cement industry, since an anomaly poorly detected or not detected in time could incur in significant losses of economic resources for the organization. In this understanding, the present work shows the influence that the management of distribution schedules of inspection routes has for the detection of anomalies in industrial equipment and its subsequent maintenance intervention. An applied research was carried out with a quantitative approach and an experimental design for hypothesis validation, taking as a reference in the study, the equipment of the grinding section in the VIACHA cement plant of the SOBOCE company. For this study, the production operators carried out routine inspections of 78 industrial equipment, for 10 weeks without route distribution schedules, and for another 10 with inspection route distribution schedules. Through a statistical analysis of paired samples (one-tail analysis), and a confidence level of 95%, it was determined that: The failure detection rate with inspection routes distribution schedules is significantly higher than the failure detection rate no route distribution schedules.

**KEY WORDS:** Anomaly, Maintenance, Schedule, Inspection, Cement Industry.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a nivel mundial la industria, experimenta una importante caída de recursos económicos debido al mantenimiento no previsto de equipos que conforman su proceso productivo. La aparición de fallas en los componentes de una instalación industrial, trae consigo la disminución de beneficios que pudieran derivarse de la producción en cuestión. Aquellas anomalías que dan lugar a la indisponibilidad del proceso, provocan una pérdida de ingresos y, así mismo, originan un incremento de los costos, ya que, como mínimo, habrá que reparar o sustituir el equipo dañado y, en el peor de los casos, deberán pagarse indemnizaciones por posibles daños ocasionados a terceros.

En la mayoría de los países latinoamericanos, el mantenimiento constituye en la actualidad una asignatura pendiente para numerosos sectores de la economía y la desatención ha llegado al extremo de que resulta en muchos lugares muy difícil identificar su existencia. Esto ha sido ratificado a través de las experiencias detectadas en numerosos países de la región. Según el periódico El Deber, en su página web:

En Bolivia debido a la ausencia de un buen mantenimiento y seguridad industrial, las pérdidas económicas van en aumento cada año. Enrique Núñez, presidente de la Sociedad Boliviana de Seguridad y Salud Ocupacional (SBSO) informó, con datos del INE, que de 2010 a 2012 el Ministerio de Trabajo registró 22.847 accidentes laborales y 967 enfermedades ocupacionales y, considerando que cada uno tuvo al menos un día de baja, las empresas gastaron más de Bs 430.000 al año por sus accidentados. Todo esto a causa de una mala gestión en el mantenimiento de equipos industriales. (EL DEBER, 2014)

Por otro lado, las inspecciones de rutina, que forman parte del mantenimiento preventivo de cualquier empresa, representan la primera línea de detección de fallas

y el primer input de información para el departamento de mantenimiento. Para poder establecer mejor la importancia de las inspecciones en el mantenimiento, primeramente, se debe aclarar que significa el termino mantenimiento. Según Oliva et al. (2010):

El mantenimiento es un servicio que agrupa una serie de actividades mediante las cuales un equipo, máquina, construcción civil o instalación, se mantiene o se restablece a un estado apto para realizar sus funciones, siendo importante en la calidad de los productos y como estrategia para una competencia exitosa (p.131).

En Bolivia muchas empresas industriales utilizan formularios físicos para realizar la inspección rutinaria y poder identificar desviaciones en sus equipos. Muchas veces estas inspecciones no están guiadas por un cronograma de inspección de distribución de rutas. Esto genera una mala organización y mucho material de escritorio acumulable, que puede resultar molesto. Las debilidades que presenta el no emplear cronogramas de inspección en esencia son: Mala organización de material, mala ejecución de las tareas de inspección, falta de espacios de almacenamiento, seguridad de información deficiente, deficiencia en comunicación y colaboración, daño ambiental.

En la planta de fabricación de cemento VIACHA (SOBOCE S.A.) no se emplean cronogramas de inspección de distribución de rutas para la inspección rutinaria de los equipos que componen su proceso. Los operadores de producción emplean formularios de tipo físico (check list en hojas) para poder detectar fallas cuando los equipos están funcionando, y lo realizan acorde a las disposiciones de su inmediato superior, haciendo que la revisión de equipos no sea metódica y sistemática. Sin embargo, se cree que empleando cronogramas de inspección de distribución de rutas (para organizar mejor la actividad rutinaria) podría mejorar la detección de fallas y el tiempo de realización de la inspección como tal por parte de los operadores. En ese entendido el objetivo de la presente experimentación es,

verificar si el empleo de cronogramas de inspección de distribución de rutas por sección, puede llegar a mejorar la tasa de detección de fallas por parte de los operadores.

## II. DESARROLLO

### Planteamiento de la hipótesis

Se hizo la experimentación en la sección de molienda de cemento (Molino Vertical de Cemento “Molino OK”) con los operadores de producción, empleando cronogramas de distribución de rutas para inspección por unas 10 semanas (Inspección rutinaria Con Cronograma de distribución de rutas – ICC). Se obtuvieron las anomalías en ese periodo (Tasa de Detección de Fallas - TDF) y se compararon con las anomalías obtenidas en 10 semanas anteriores al periodo de experimentación sin el empleo de cronogramas de distribución (Inspección rutinaria Sin Cronograma de distribución de rutas – ISC).

De acuerdo a lo anterior, se plantea la siguiente hipótesis de investigación: “El empleo de cronogramas de distribución de rutas para inspecciones de rutina (ICC) mejora significativamente la tasa de detección de fallas (TDF) comparada con un periodo anterior donde no se emplea dichos cronogramas (ISC)”.

#### a) Hipótesis Nula

Se planteó la siguiente hipótesis nula: La tasa de detección de fallas con cronograma de distribución de rutas ( $\mu_{ICC}$ ) es significativamente menor o igual que la tasa de detección de fallas sin cronograma de distribución de rutas ( $\mu_{ISC}$ ), es decir:

$$H_0: \mu_{ICC} \leq \mu_{ISC}$$

## b) Hipótesis Alternativa

Se planteó la siguiente hipótesis alternativa: La tasa de detección de fallas con cronograma de distribución de rutas ( $\mu_{ICC}$ ) es significativamente mayor que la tasa de detección de fallas sin cronograma de distribución de rutas ( $\mu_{ISC}$ ), es decir:

$$H_1: \mu_{ICC} > \mu_{ISC}$$

## Tamaño de la muestra

En la planta de cemento VIACHA (SOBOCE S.A.) Se tiene actualmente funcionando 2 líneas de producción de cemento, distribuidas en 16 secciones operativas, con una cantidad de 1029 equipos industriales principales de los cuales depende la producción en general. Todos estos equipos están sometidos a inspecciones de rutina por parte del operador de producción sin el empleo de cronogramas de distribución de rutas (ISC).

Para fines de la investigación, se tomó como muestra la sección de molienda de cemento (“Molino OK”) con 78 equipos principales, para su revisión con cronogramas de distribución de rutas (ICC).

Previamente al procedimiento experimental de la investigación se describen los cronogramas de inspección utilizados y rutas de inspección.

## Cronograma de Inspección

Para la presente investigación se entiende por cronograma de inspección al cronograma de distribución de rutas para inspecciones de rutina. Consiste en un arreglo bidimensional de rutas de inspección de diferente frecuencia de intervención en días de la semana y en turnos laborales del personal de producción de la planta de cemento VIACHA – SOBOCE.

### CRONOGRAMA PARA VOSO - MOLINO OK

DIAS		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
MAÑANA (6-14)	↓ EQUIPOS ↓	ELEVADORA (531BE220)	SIS. DE LUB. GRASA ARTICULACIONES 531.GS115	ELEVADORA (531BE220)	SIS. DE LUB. GRASA ARTICULACIONES 531.GS115	ELEVADORA (531BE220)	SIS. DE LUB. GRASA ARTICULACIONES 531.GS115	FILTRO COMPACTO 511.BF010 Y 511.BF060
		CINTA (531BC200), SEPARADOR (531MS011)	SIS LUB RODILLOS (531.LQ120) (531.LQ121)	CINTA (531BC200), SEPARADOR (531MS011)	SIS LUB RODILLOS (531.LQ120) (531.LQ121)	CINTA (531BC200), SEPARADOR (531MS011)	SIS LUB RODILLOS (531.LQ120) (531.LQ121)	CINTA 511.BC600 Y SEPARADOR 511.MS601
		CINTA 531.BC010, DETECTOR 531.MT012	BLASTER 531.BQ097, TOLVA 531.BI250, CINTA 531.BC270, DETECTOR 531.MT271, COMPUERTA 531.DG280	CINTA 531.BC010, DETECTOR 531.MT012	BLASTER 531.BQ097, TOLVA 531.BI250, CINTA 531.BC270, DETECTOR 531.MT271, COMPUERTA 531.DG280	CINTA 531.BC010, DETECTOR 531.MT012	BLASTER 531.BQ097, TOLVA 531.BI250, CINTA 531.BC270, DETECTOR 531.MT271, COMPUERTA 531.DG280	POLIPASTO 531.EH221, COLECTOR 531.BF020, 531.BF290
		COMPUERTA 2 VIAS 531.DG050, TOLVA 531.BI060		COMPUERTA 2 VIAS 531.DG050, TOLVA 531.BI060		COMPUERTA 2 VIAS 531.DG050, TOLVA 531.BI060		
DIAS		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
TARDE (14-22)	↓ EQUIPOS ↓	DOSIFICADORA DE YESO 511.WF150	MOLINO VERTICAL, MOTOR 531.MD140 Y REDUCTOR PRINCIPAL 531.MD141, SEPARADOR PRINCIPAL 531.SR150	DOSIFICADORA DE YESO 511.WF150	MOLINO VERTICAL, MOTOR 531.MD140 Y REDUCTOR PRINCIPAL 531.MD141, SEPARADOR PRINCIPAL 531.SR150	DOSIFICADORA DE YESO 511.WF150	MOLINO VERTICAL, MOTOR 531.MD140 Y REDUCTOR PRINCIPAL 531.MD141, SEPARADOR PRINCIPAL 531.SR150	SISTEMA DE LIMPIEZA DE MANGAS 531.BF500
		DOSIFICADORA DE PUZOLANA 511.WF250		DOSIFICADORA DE PUZOLANA 511.WF250		DOSIFICADORA DE PUZOLANA 511.WF250		
		DOSIFICADORA DE CLINKER 511.WF350	DOSIFICADORA 531.WF070, SIS REFRIGERACION 531.LQ153, SIS LUB SEPARADOR 531.GS155	DOSIFICADORA DE CLINKER 511.WF350	DOSIFICADORA 531.WF070, SIS REFRIGERACION 531.LQ153, SIS LUB SEPARADOR 531.GS155	DOSIFICADORA DE CLINKER 511.WF350	DOSIFICADORA 531.WF070, SIS REFRIGERACION 531.LQ153, SIS LUB SEPARADOR 531.GS155	POLIPASTO 531.HI546, 531.EH545, 531.HI010
		DOSIFICADORA DE CLINKER INCOCIDO 511.WF450		DOSIFICADORA DE CLINKER INCOCIDO 511.WF450		DOSIFICADORA DE CLINKER INCOCIDO 511.WF450		
DIAS		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
NOCHE (22-06)	↓ EQUIPOS ↓	SALA DE LUBRICACION 531.GR132, 531.WI130, 531.HY110, 531.HY110, 531.LQ145, 531.HY128	AERODESLIZADOR 531.AS511, 531.AS512		AERODESLIZADOR 611.AS410, 611.AS420, 611.AS440, 611.AS460, 611.AS470, 611.AS392, 611.AS342		MUESTREADOR 611.XA412	
			VALVULA ROTATORIA 531.RF531, 531.RF532	SALA DE LUBRICACION 531.GR132, 531.WI130, 531.HY110, 531.HY110, 531.LQ145, 531.HY128		SALA DE LUBRICACION 531.GR132, 531.WI130, 531.HY110, 531.HY110, 531.LQ145, 531.HY128		MUESTREADOR ARTUR RODDAY ALIM SILO OK
		VENTILADOR 531.FN560, DAMPER 531.LD555 Y 531.LD565			ELEVADOR DE CANGILONES 611.BE000		COLECTOR DE MANGAS 611.BF160	

NOTA: EN CADA TURNO EL OPERADOR DEBERÁ MANDAR LAS OBSERVACIONES ENCONTRADAS POR LA REVISION DE LOS EQUIPOS SEGÚN EL CRONOGRAMA

Figura 1: Cronograma de inspección para molienda de cemento. (Fuente: Elaboración Propia)

## Rutas de Inspección

Las rutas de inspección son agrupaciones sucesivas de equipos aledaños para tareas de revisión periódica, es decir que son, grupos de equipos uno a continuación de otro para que la inspección sea metódica y sistemática.

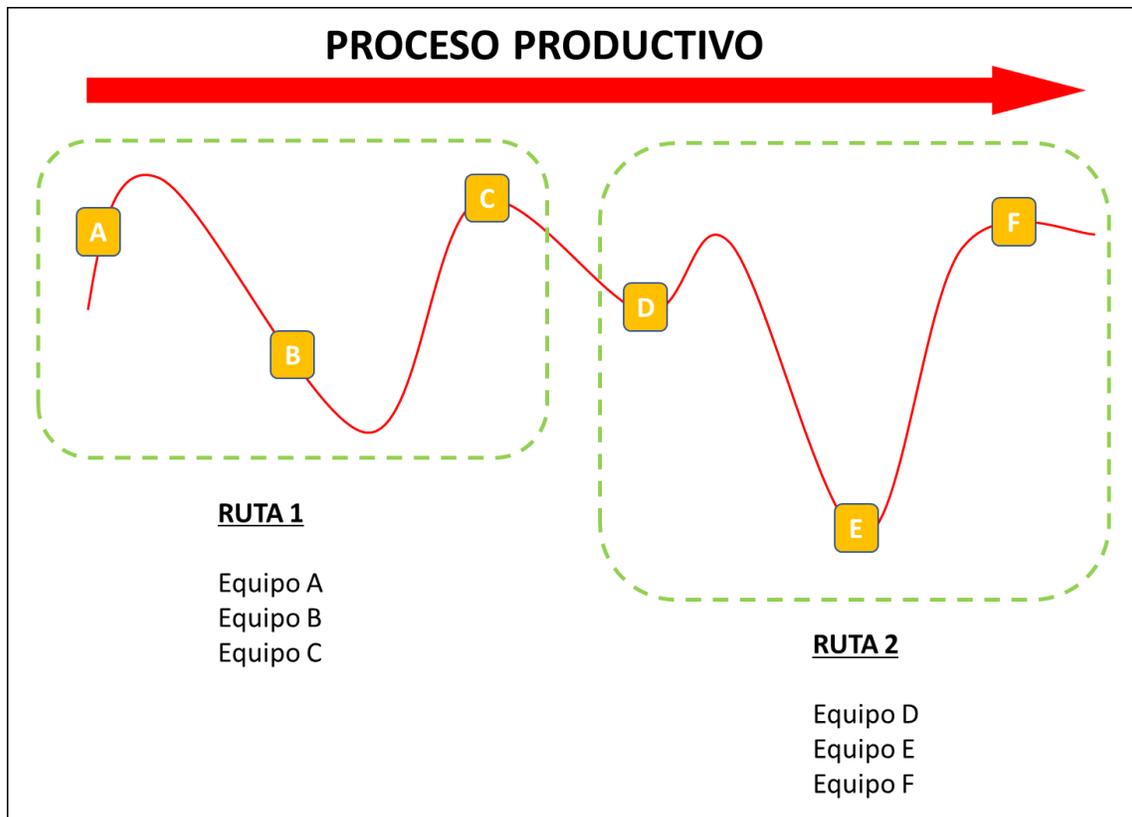


Figura 2: Rutas de inspección. (Fuente: Elaboración Propia)

En la figura anterior se muestra un ejemplo de distribución de equipos en rutas de inspección. Se muestra un proceso productivo con 6 equipos, se muestra las agrupaciones de los equipos en rutas. Este tipo de organización ayuda a elaborar un cronograma de inspección adecuado.

En un cronograma de distribución de rutas para inspecciones de rutina se requiere previamente la delimitación y elaboración de rutas.

## Procedimiento

El operador de molienda de cemento (OMC) realizó sus inspecciones rutinarias durante 10 semanas desde la semana 29 a la semana 38 del 2020 (a partir del 13 de julio hasta el 20 de septiembre del 2020), sin el empleo de cronogramas de distribución de rutas, cubriendo de esta manera la revisión de los 78 equipos principales que componen el proceso de molienda.

Se registraron las anomalías detectadas como resultado de la inspección ISC (Tabla 1) y se las contabilizaron las mismas por semanas.

Tabla 1

*Fallas detectadas sin el empleo de cronogramas de distribución de rutas (ISC)*

Número de semana	SEM 29	SEM 30	SEM 31	SEM 32	SEM 33	SEM 34	SEM 35	SEM 36	SEM 37	SEM 38
Fallas detectadas por semana	10	7	11	8	7	12	7	8	10	11
Detección de fallas acumulada	10	17	28	36	43	55	62	70	80	91

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente a dicho periodo, el operador (OCM) fue entrenado durante 2 semanas en el empleo de cronogramas de distribución de rutas para realizar las inspecciones rutinarias.

Finalmente, el operador realizó las inspecciones de rutina cubriendo los 78 equipos de su proceso, empleando cronogramas de distribución de rutas durante 10 semanas posteriores a su entrenamiento desde la semana 41 a la semana 50 del 2020 (a partir del 5 de octubre hasta el 13 de diciembre del 2020), registrando la detección de anomalías por ICC semana a semana (tabla 2).

Tabla 2

*Fallas detectadas con el empleo de cronogramas de distribución de rutas (ICC)*

Número de semana	SEM 41	SEM 42	SEM 43	SEM 44	SEM 45	SEM 46	SEM 47	SEM 48	SEM 49	SEM 50
Fallas detectadas por semana	12	10	13	11	17	14	10	18	11	9
Detección de fallas acumulada	12	22	35	46	63	77	87	105	116	125

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que la información presentada es actualizada y suficiente para realizar un análisis estadístico, ya que la misma pertenece a la gestión 2020 y se hizo en un periodo total de 20 semanas tomando en cuenta todos los días y turnos operativos del equipo de producción.

### **Análisis Estadístico**

Con los datos obtenidos de las tablas 1 y 2, se realizaron gráficos de barras para poder ver los valores de fallas obtenidos por semana en cada una de las condiciones (Inspecciones sin cronogramas de distribución e inspecciones con cronogramas de distribución). También se realizaron graficas acumuladas de la cantidad de fallas detectadas en ambos tipos de condiciones, obteniendo como resultado, un total de 91 fallas detectadas para una condición de ISC (Figura 3), y un total de 125 fallas para una condición de ICC (Figura 4).

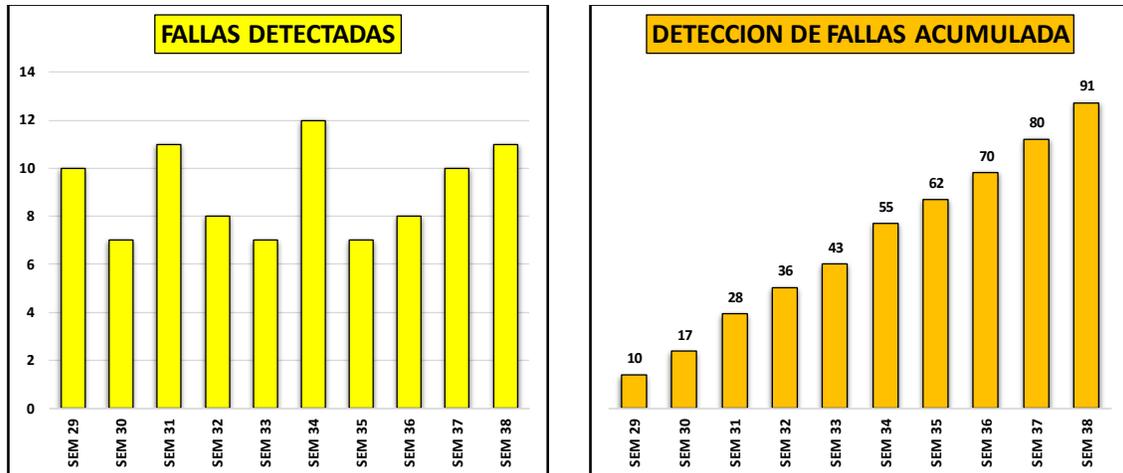


Figura 3: Fallas detectadas en 10 semana por ISC y grafica acumulada. (Fuente: Elaboración Propia)

En la Figura 4 se observa un aumento en la detección de fallas (TDF) comparada con la Figura 3. Es decir, que se detectaron más número de fallas en una condición de inspecciones con cronograma de distribución de rutas (ICC).

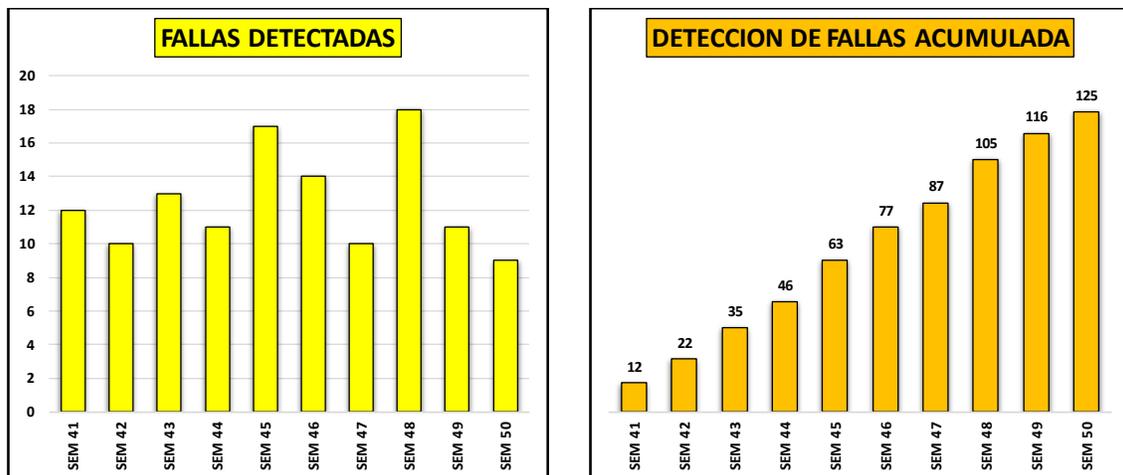


Figura 4: Fallas detectadas en 10 semana por ICC y gráfica acumulada. (Fuente: Elaboración Propia)

### III. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Para validar la hipótesis planteada, se realizó una prueba de hipótesis mediante la distribución t-student de muestras pareadas con un análisis de 1 cola (cola derecha) y con un valor de significancia de 0,05.

La tabla 3 muestra la comparación y diferencia entre las tasas de detección de fallas para las condiciones de ICC y de ISC, denominadas Tasa A y B respectivamente.

Tabla 3

*Comparación de tasas de detección de fallas para condiciones ISC y ICC*

Semana	Tasa A - TDF (ICC)	Tasa B - TDF (ISC)	Diferencia (x)
1	12	10	2
2	10	7	3
3	13	11	2
4	11	8	3
5	17	7	10
6	14	12	2
7	10	7	3
8	18	8	10
9	11	10	1
10	9	11	-2

Fuente: Elaboración propia

Las hipótesis nula y alternativa se también pueden expresar de la siguiente forma:

$$H_0: \mu_{ICC} - \mu_{ISC} \leq 0$$

$$H_1: \mu_{ISC} - \mu_{ICC} > 0$$

Para la prueba de hipótesis correspondiente, se empleó el Teorema Central del Límite para la diferencia de tasas A y B, para poder calcular el valor del estadístico t-student.

$$t = \frac{\bar{x}}{s_x/\sqrt{n}}$$

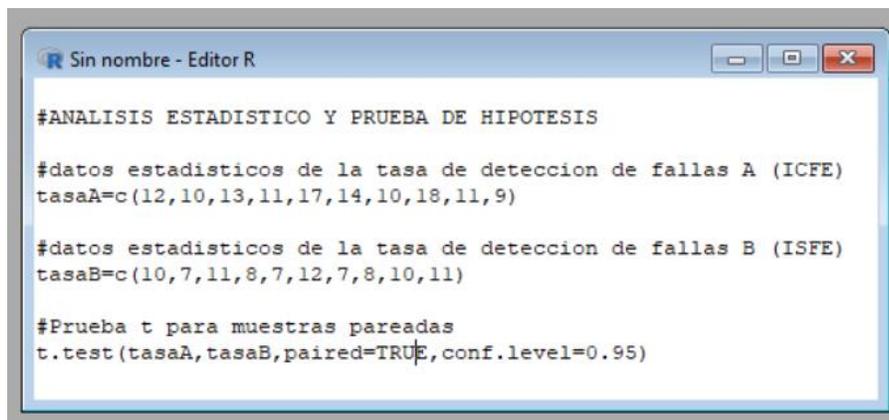
Por medio de los valores de la columna “Diferencia ( $x$ )” de la Tabla 3, se obtuvo los siguientes valores para el valor medio ( $\bar{x}$ ), desviación estándar ( $s_x$ ), y con el valor del número de medidas ( $n = 10$ ), se obtuvo el valor del estadístico t-student ( $t$ ):

$$\begin{aligned}\bar{x} &= 3.4 \\ s_x &= 3.777 \\ t &= \frac{\bar{x}}{s_x/\sqrt{n}} = 2.847\end{aligned}$$

El valor de t-student obtenido con el número de grados de libertad ( $\nu = n - 1 = 9$ ) y la significancia ( $\alpha = 0.05$ ) es  $t = 2.262$ . Siendo que  $t$  calculado es mayor al  $t$  de tablas, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa  $H_1$ .

También, se hizo la verificación de la prueba de hipótesis por medio del software estadístico “R”, con un modelo de muestras pareadas y para un nivel de confianza del 95%.

En la figura 5 se muestra el Script empleado para el análisis.



```
#ANALISIS ESTADISTICO Y PRUEBA DE HIPOTESIS

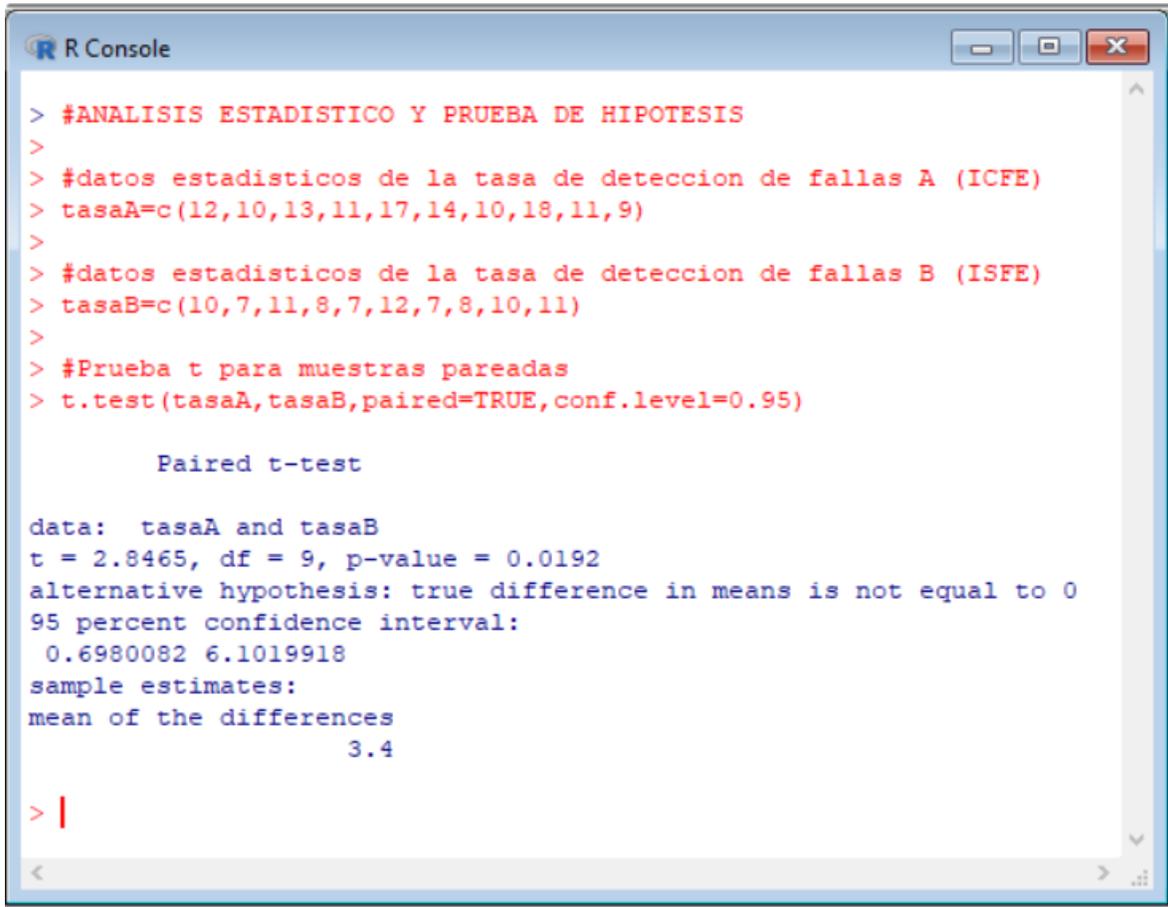
#datos estadísticos de la tasa de detección de fallas A (ICFE)
tasaA=c(12,10,13,11,17,14,10,18,11,9)

#datos estadísticos de la tasa de detección de fallas B (ISFE)
tasaB=c(10,7,11,8,7,12,7,8,10,11)

#Prueba t para muestras pareadas
t.test(tasaA,tasaB,paired=TRUE,conf.level=0.95)
```

Figura 5: Script y código fuente empleado para el análisis estadístico en R  
(Fuente: Capturas de pantalla del software – Elaboración Propia)

Se obtuvieron los resultados en consola de “R” mostrados en la figura 6.



```
> #ANALISIS ESTADISTICO Y PRUEBA DE HIPOTESIS
>
> #datos estadisticos de la tasa de deteccion de fallas A (ICFE)
> tasaA=c(12,10,13,11,17,14,10,18,11,9)
>
> #datos estadisticos de la tasa de deteccion de fallas B (ISFE)
> tasaB=c(10,7,11,8,7,12,7,8,10,11)
>
> #Prueba t para muestras pareadas
> t.test(tasaA,tasaB,paired=TRUE,conf.level=0.95)

      Paired t-test

data:  tasaA and tasaB
t = 2.8465, df = 9, p-value = 0.0192
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.6980082 6.1019918
sample estimates:
mean of the differences
                3.4

> |
```

Figura 6: Resultados en Consola de R (Fuente: Capturas de pantalla del software – Elaboración Propia)

“R” muestra los valores de t-student ( $t = 2.8465$ ) grados de libertad ( $df = 9$ ) y probabilidad de error Tipo I ( $p - value = 0.0192$ ), con el valor de significancia adoptado ( $\alpha = 0.05$ ) y en comparativa con p-value ( $p - value < \alpha$ ), se establece que la hipótesis alternativa es verdadera, siendo que la diferencia entre medias no es igual a 0. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%.

#### IV. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis estadístico realizado en el punto anterior y a la prueba de hipótesis para muestras pareadas se obtuvo que: La tasa de detección de fallas con cronograma de distribución de rutas ( $\mu_{ICC}$ ) es significativamente mayor que la tasa de detección de fallas sin cronogramas de distribución de rutas ( $\mu_{ISC}$ ), a un nivel de confianza del 95%.

En ese entendido se concluye que: El empleo de cronogramas de distribución de rutas para la realización de inspecciones de rutina (ICC) mejora significativamente la tasa de detección de fallas (TDF) comparada con un periodo anterior donde no se emplea dichos cronogramas (ISC).

Estos resultados podrán ser referentes para una futura implementación de cronogramas para inspecciones de rutina en otras áreas de la planta de cemento VIACHA e incluso para otras fábricas con equipos y procesos similares.

## REFERENCIAS

EL DEBER. (2014). *Al Menos 7.000 Accidentes Laborales En Bolivia Cada Año*. Recuperado de <https://ibce.org.bo/principales-noticias-bolivia/noticias-nacionales-detalle.php?id=46592&idPeriodico=4&fecha=2014-09-23>

Oliva, Karim, Madelein Arellano, María López, and Karen Soler. (2010). Sistemas de Información Para La Gestión de Mantenimiento En La Gran Industria Del Estado Zulia. *Revista Venezolana de Gerencia* 15(49):125–40. Recuperado de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-99842010000100008](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-99842010000100008)

## BIBLIOGRAFÍA

García, Santiago. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid, España. Diaz de Santos.

Gutiérrez, Eduardo, and Olga Vladimirovna. (2016). *Estadística Inferencial 1: Para Ingeniería y Ciencias*. Azcapotzalco, México. Grupo Editorial Patria

Ortiz Useche, Alexis, Carlos Rodríguez Monroy, and Henry Izquierdo. (2013). Gestión de Mantenimiento En Pymes Industriales. *Revista Venezolana de Gerencia* 18(61). 86-104. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/290/29026161004.pdf>

# CARRERA ACREDITADA AL SISTEMA ARCU-SUR, DEL MERCOSUR EDUCATIVO



## LA COMISIÓN NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE CARRERAS UNIVERSITARIAS

En sujeción y al amparo de la Ley N° 070 de la Educación "Avelino Siñani - Elizardo Pérez" del 20 de diciembre de 2010

# CERTIFICA

Que la Carrera de:

## INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

con sede académica en la ciudad de LA PAZ, ha cumplido  
los criterios establecidos para la

## ACREDITACIÓN

al Sistema ARCU - SUR, del MERCOSUR EDUCATIVO

Este reconocimiento de la Calidad Académica tiene alcance Regional en el MERCOSUR,  
con validez de un periodo de seis (6) años.

La Paz, septiembre de 2019

  
Msc. Lic. Eduardo Cortez Baldivieso  
Presidente de la Comisión Nacional de  
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia

  
Lic. L. Antonio Carralho Suárez  
Vocal de la Comisión Nacional de  
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia

  
Abing. Juan Jesús Roberto Rodríguez Ayala  
Vocal de la Comisión Nacional de  
Acreditación de Carreras Universitarias de Bolivia





Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ingeniería



Av. Mcal. Santa Cruz Nº 1175  
Plaza del Obelisco  
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería  
Tel. 2205000 - 2205067 Int. 1402  
Web: [industrial.umsa.bo](http://industrial.umsa.bo)  
Email: [ingeindustrial@umsa.bo](mailto:ingeindustrial@umsa.bo)  
[ingeindustrialumsa@gmail.com](mailto:ingeindustrialumsa@gmail.com)

Todos los Derechos Reservados, 2021  
La Paz - Bolivia