

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO CON VIGA
BENKELMAN - MODELO MATEMÁTICO, CARRETERA
CAÑETE CHUPACA
METODOLOGÍA DE DISCRIMINACIÓN DE DATOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JULIO FERNANDO CALIZAYA LUNA

Lima- Perú

2011

ÍNDICE

RESUMEN	<i>iii</i>
LISTA DE CUADROS	<i>iv</i>
LISTA DE GRÁFICOS	<i>iv</i>
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	<i>v</i>
INTRODUCCIÓN	<i>vii</i>
CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. IDENTIFICACIÓN	2
1.3. TRAMO EVALUADO km 74+000 – 84+000	6
CAPITULO II: PLANTEAMIENTOS INICIALES	10
2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	10
2.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO	10
2.3 JUSTIFICACIÓN	11
CAPITULO III: ESTADO DEL ARTE	12
3.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	12
3.1.1 Viga Benkelman	12
3.1.2 Sistema Dynaflect	12
3.1.3 Deflectómetro FWD	13
3.2 MODELOS DE DISCRIMINACIÓN DE DATOS	14
3.2.1 Análisis Estadístico Multivariante	14
3.2.2 Análisis Estadístico “t” de Student (Método Conrevial)	14
CAPITULO IV: MARCO TEÓRICO	17
4.1 LA VIGA BENKELMAN	17
4.2 HERRAMIENTA ESTADÍSTICA PARA DISCRIMINACIÓN DE DATOS	19
4.2.1 Conceptos Previos	19
4.2.2 Uso de la herramienta estadística	24
4.2.3 Bootstrap	24
4.2.4 Prueba de Kolmogórov – Smirnov.	26

4.2.5	Prueba de Shapiro – Wilk	26
CAPITULO V: PROPUESTA METODOLÓGICA		27
5.1	DISCRIMINACIÓN DE MEDICIONES	27
5.1.1	Problemas previos.	27
5.1.2	Secuencia aplicada para la discriminación de mediciones	32
5.1.3	Lectura de los datos con viga Benkelman y cálculo de deflexiones	32
5.1.4	Partición o sectorización inicial del tramo en estudio	35
5.1.5	Prueba de Normalidad	37
5.1.6	Aplicación del método Bootstrap. Cálculo de la Deflexión media, desviación estándar y deflexión característica.	40
5.1.7	Prueba de similitud: método Conrevial, Mann Whitney y curva de distribución acumulada.	44
5.1.8	Sectorización Final.	47
CONCLUSIONES		48
RECOMENDACIONES		49
BIBLIOGRAFÍA		50
ANEXOS		51

RESUMEN

En los últimos años, los contratos de conservación y mantenimiento de carreteras han cobrado importancia. La modalidad adoptada por el Estado para mantener las principales vías de comunicación en buenas condiciones de serviciabilidad, ha generado el interés de las empresas en asumir la responsabilidad y convenir con el Estado para el mantenimiento y reparación de las carreteras. Si antes los contratos, como todos los contratos de obra, terminaban con la finalización de la construcción de la carretera, con esta nueva modalidad, la empresa se hace cargo por el buen funcionamiento de la carretera.

Es de este modo que van apareciendo en el Perú técnicas para la conservación de las vías no utilizadas anteriormente. Los contratistas las desarrollan para el mejoramiento de éstas, y las aplican periódicamente de acuerdo a un criterio propio adoptado por cada uno.

Por otro lado, la Universidad Nacional de Ingeniería celebró un convenio con el MTC – Provias Nacional, para realizar un estudio de diseño y conservación de la carretera Cañete – Yauyos – Chupaca.

En este contexto, el presente trabajo plantea una metodología para la discriminación de la información de campo, que consiste en realizar una sectorización inicial de la carretera o tramo de carretera evaluado, aplicar las herramientas matemáticas y/o estadísticas que informen el estado actual de cada uno de ellos, para luego realizar una homogeneización o sectorización final que permita aplicar un similar tratamiento de rehabilitación o mantenimiento.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.01	Sectores de la carretera.	8
Cuadro N° 1.02	Tránsito de vehículos.	9
Cuadro N° 1.03	Tratamiento superficial por tramos.	9
Cuadro N° 4.01	Funciones y pruebas usadas en el Minitab.	24
Cuadro N° 5.01	Comparación de la desviación estándar para 6 datos vs. Desviación estándar aplicando el método Bootstrap.	29
Cuadro N° 5.02	Cuadro de deflexiones en el carril izquierdo	33
Cuadro N° 5.03	Cuadro de deflexiones en el carril derecho	34
Cuadro N° 5.04	Resultados del Bootstrap y cálculo de las deflexiones características	43

LISTA DE GRÁFICOS

Figura N° 1.01	Ubicación del tramo en estudio.	3
Figura N° 1.02	La zona en estudio.	3
Figura N° 1.03	Carretera Cañete - Chupaca.	5
Figura N° 1.04	Mapa Geológico Regional.	7
Figura N° 1.05	Unidades estratigráficas pertenecientes al cuadrángulo de Tupe.	7
Figura N° 2.01	Proceso de Discriminación de datos.	10
Figura N° 3.01	Ensayo con viga Benkelman en la carretera Cañete – Yauyos. Nov. 2010.	12
Figura N° 3.02	Equipo Dynaflect.	13
Figura N° 3.03	Deflectómetro Falling-Weight (FWD).	14
Figura N° 4.01	Esquema de la viga Benkelman	17
Figura N° 4.02	Principio de operación de la viga Benkelman	18
Figura N° 4.03	Función de densidad y función de distribución de la distribución Normal	19
Figura N° 4.04	Función de Densidad de la distribución Normal estándar.	20
Figura N° 4.05	Función de distribución acumulativa para la distribución Normal.	21

Figura N° 4.06	Procedimiento sistemático que conlleva a rechazar o no rechazar la hipótesis nula.	22
Figura N° 4.07	Nivel de significancia.	23
Figura N° 5.01	Histograma, curva de probabilidad y distribución Bootstrap del sector 1	27
Figura N° 5.02	Test de Normalidad en carril izquierdo y derecho.	29
Figura N° 5.03	Tramificación de la Carretera Pacarán – Ronchas	31
Figura N° 5.04	Secuencia de la discriminación de datos	32
Figura N° 5.05	Sectorización inicial del tramo en estudio.	35
Figura N° 5.06	Deflectogramas del carril izquierdo y derecho	36
Figura N° 5.07	Prueba de Normalidad sector 1	37
Figura N° 5.08	Prueba de Normalidad sector 5	38
Figura N° 5.09	Prueba de Normalidad sector 10	39
Figura N° 5.10	Aplicación de macro Bootstrap en el sector 1	40
Figura N° 5.11	Aplicación de macro Bootstrap en el sector 5	41
Figura N° 5.12	Aplicación de macro Bootstrap en el sector 10	42
Figura N° 5.13	Verificación y/o corroboración de resultados por Conrevial y Mann Whitney. Sector 1 y 2	44
Figura N° 5.14	Verificación y/o corroboración de resultados por Conrevial y Mann Whitney. Sector 1 y 5	45
Figura N° 5.15	Verificación y/o corroboración de resultados por Conrevial y Mann Whitney. Sector 1 y 10	46
Figura N° 5.16	Sectorización Final del tramo	47

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
Do	: Deflexión máxima media
Dc	: Deflexión característica
Dadm	: Deflexión admisible
P-Valor	: Significancia asintótica vertical. Valor P
Ho	: Hipótesis nula
H1	: Hipótesis alternativa
SUCS	: Sistema Uniificado de Clasificación de Suelos

- UNI** : Universidad Nacional de Ingeniería
- MTC** : Ministerio de Transportes y Comunicaciones
- CBR** : California Bearing Ratio
- N** : Número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas acumuladas en el periodo de diseño

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo realiza una evaluación del proceso propuesto por el Consorcio de Rehabilitación Vial – Conrevial del MTC, al diseño y conservación de pavimentos flexibles, y elabora una propuesta metodológica para la conservación y el diseño de carreteras de bajo volumen de tránsito.

La información complementaria para la corroboración de la propuesta, se levanta a través de la Viga Benkelman, cuyos datos recogidos son aplicados en la propuesta.

Este planteamiento, parte de algunos supuestos, que son verificables:

- Todas las deflexiones medidas son tomadas en consideración. No se eliminan datos por considerarse mal recogidos
- Las deflexiones máximas calculadas, no necesariamente obedecen a una distribución Normal.
- Las muestras con distribución normal o no normal pueden ser simuladas a través de un muestreo recursivo con la aplicación de un método estadístico.

El presente trabajo está compuesto por cinco capítulos, el primero corresponde a aspectos generales del tramo evaluado donde se detallan los antecedentes del proyecto, de cómo fue gestándose hasta llegar a la actualidad, así como aspectos del valle de Cañete y Yauyos

En el capítulo II tenemos los planteamientos iniciales, en donde se define el problema, y se justifica y se define el objetivo del presente trabajo.

El capítulo III, corresponde al estado del arte, en donde se menciona el avance que ha tenido la Ingeniería Vial, las técnicas, los métodos,, las herramientas que se emplean en la actualidad, así como aquellos que aun siguen siendo usados en el Perú.

El capítulo IV corresponde al marco teórico, en donde se hace énfasis a los métodos que se emplearan en el presente trabajo.

Para terminar, en el capítulo V se describe y desarrolla la propuesta sobre la base de los elementos recogidos en campo. Se intenta establecer una generalidad a todas las carreteras de bajo volumen de tránsito. Se hace uso de herramientas estadísticas y de metodologías empleadas en carreteras de alto tránsito.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La Carretera Cañete – Chupaca, que recorre los departamentos de Lima y Junín con una altitud que varía de 500 a 4360 msnm, se proyecta y ejecuta por etapas durante el Gobierno del Sr. Augusto B. Leguía entre los años 1920 a 1930, mediante la ley de la Conscripción Vial Territorial del Perú. Mediante esta ley se impulsa la creación y reparación de carreteras. Se promulga por el entonces Ministerio de Fomento.

En los años 50, después de una serie de paralizaciones, postergaciones y posteriormente avances en la obra a lo largo de 30 años, se concluye con el trazo de la carretera, integrando la región costa con la sierra.

En 1958 se realizan trabajos de mantenimiento a la vía por las empresas Cementos Lima y ARPL Tecnología Industrial, realizando algunos trabajos de perfilado.

En el año 1998 la Comisión de Promoción de Concesiones Privadas (PROMCEPRI) adjudica la buena Pro al Consorcio “Asociación Aguas y estructuras (AYESA) – ALPHA CONSULT SA” para realizar el Servicio de Consultoría a Nivel de Estudio Definitivo de la Carretera Lunahuaná - Huancayo. En año 2005, PROVIAS NACIONAL – MTC realiza el estudio de pre inversión a nivel de factibilidad del proyecto Mejoramiento y Rehabilitación de la Carretera Ruta 22, enfatizando el tema de diseño vial.

Posteriormente en 2007 por Resolución Ministerial N° 408 -2007-MTC/02 se crea el Programa “Proyecto Perú” bajo responsabilidad de PROVIAS NACIONAL, diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos. Dicho programa se caracteriza por contratos que se controlan por niveles de servicio y plazos mayores o iguales a los 3 años.

Con fecha 17 de Diciembre 2007 se firma el contrato con el CONSORCIO GESTION DE CARRETERAS, por un monto que asciende en S/. 131'589,139.71, por la conservación vial de 271.73 Km. Los términos de referencia señalan que se debe dar una solución básica a aplicar sobre la superficie actual de la vía, previamente conformada, no se deben realizar cambios en la geometría ni trazo de la vía existente.

Con fecha 01 de febrero del 2008 se inicia el servicio. Como punto de partida se realiza un inventario vial, el cual se realiza con el objetivo de tener un registro de todas las estructuras y obras (Infraestructura Vial), condiciones estructurales y condiciones funcionales actuales, identificación de sectores críticos y las necesidades de la vía como fase pre-operativa, ejecutado durante los meses de abril, mayo y junio de 2008.

La carretera actualmente se encuentra en trabajos de rehabilitación y mantenimiento.

1.2 IDENTIFICACIÓN

La carretera Cañete - Chupaca está considerada como una carretera de bajo volumen de tránsito que conecta la costa con la sierra sur del departamento de Lima en las provincias de Cañete y Yauyos hasta llegar a la ciudad de Chupaca en el departamento de Junín.

La carretera a lo largo de su recorrido presenta distintas características, que pueden clasificarse de la siguiente manera:

Ubicación

El valle de cañete se ubica en la costa sur del departamento de Lima, entre las siguientes coordenadas:

Latitud Sur	:	12°56'37" – 13°09'09"
Longitud Oeste	:	76°29'31" – 76°11'00"
Coord. UTM Norte	:	8'545,966 – 8'569,095 m
Coord. UTM Este	:	338,146 -371,679 m

Figura N° 1.01 Ubicación del tramo en estudio.

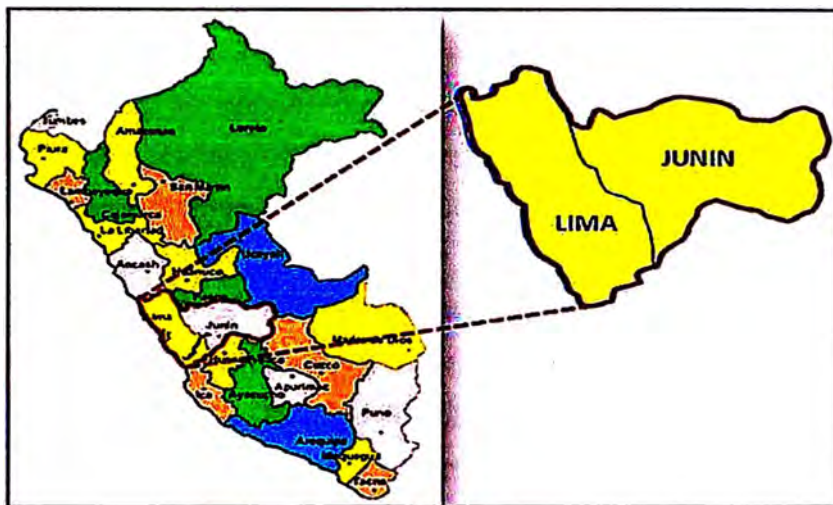


Figura N° 1.02 La zona en estudio.



Geología y Geotecnia

La geomorfología de la zona de estudio se encuentra conformada sobre las unidades sedimentarias, volcánicas y metamórficas, en cuanto a las formaciones geológicas de la ruta se encuentran las formaciones de Cañete, Cerro Negro, Torán, Cocachacra y Pariatambo, conforme se aprecia en las figuras 1.04 y 1.05. Los procesos geodinámicos existentes en el área de Estudio son esporádicos, no evidenciando procesos geodinámicos de mayor envergadura, y no existen puntos críticos que requieran tratamiento especial; sin embargo existe la posibilidad que debido a cortes de talud superior se generen procesos geodinámicos tales como: derrumbes, desprendimientos y desplomes; sobre todo en el sector de Magdalena (Km. 01+500) hasta Llapay (Km. 30+010) que corresponde al segundo tramo Magdalena – Chupaca.

En cuanto a los fenómenos de flujos hídricos que son manifestaciones geodinámicas cuyo agente principal es el agua de escorrentía superficial, que según jerarquía se puede clasificar en cárcavas, huaycos y erosión de riberas. En el tramo del Estudio se ha ubicado en el Km. 31+100, saliendo del caserío de Llapay la erosión de la plataforma afectada por las crecidas extraordinarias Río Cañete que ha afectado la vía en una longitud de 10.00 mts; el mismo que debe contrarrestarse colocando un pequeño enrocado.

Con relación a los problemas geotécnicos son mínimos, se aprecian pequeños hundimientos de plataforma por encharcamientos, debido a las aguas superficiales, asentamientos y ahuellamientos aislados entre Magdalena y Tomas.

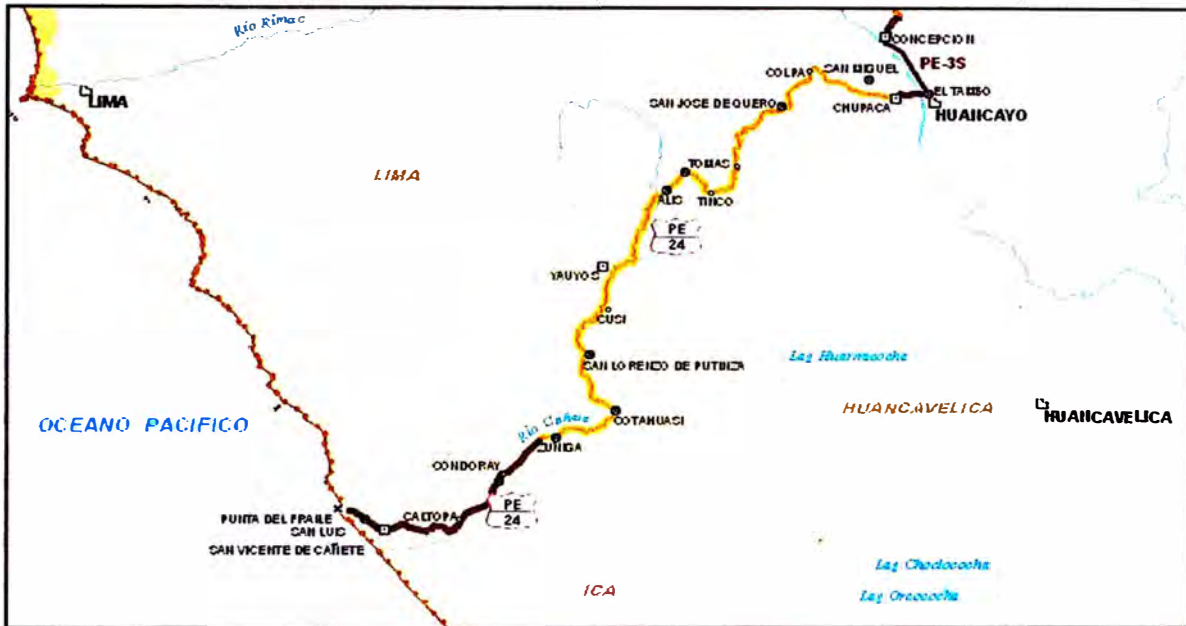
Se ha realizado la clasificación de material en forma ocular a lo largo de los tramos de la carretera. En el tramo de Lunahuaná a Yauyos, se ha realizado 05 clasificaciones de material, teniendo un ponderado de material suelto 49%, Roca Suelta 33% y Roca Fija 18%; y en el tramo de Magdalena – Chupaca, se tiene la clasificación preliminar en forma global de material suelto 53%, roca suelta 32% y roca fija 15%.

Hidrología y Drenaje

El Estudio a nivel de perfil solo requiere de un inventario de las obras de arte y drenaje existentes en la ruta del proyecto, así tenemos que en el primer tramo del estudio Lunahuaná – Yauyos (Km. 104+500), se tiene 146 obras de drenaje, conformados por 54 alcantarillas de TMC de 24", 17 badenes, 06 puentes, 01

pontones, 02 canal de riego, 01 alcantarilla de losa y 65 tajeas (mampostería de piedra). En el segundo tramo de Magdalena – Chupaca, se ha contabilizado 113 obras de drenaje, de los cuales se tiene, 02 puentes, 12 pontones, 12 badenes, 53 alcantarillas TMC de 24", 07 alcantarillas abovedadas Multiplane y 20 Tajeas.

Figura N° 1.03 Carretera Cañete - Chupaca



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. <http://www.mtc.gob.pe>

Las precipitaciones pluviométricas entre Lunahuaná y Yauyos se encuentran entre 100 a 150 mm. Anuales, y de Magdalena a Chupaca entre 800 a 1200mm anuales, no se obtenido la información del SENAMHI para la zona del estudio porque no vamos proyectar ni diseñar obra de arte alguna en los tramos del estudio.

El contrato del estudio a nivel de perfil solo ha considerado un especialista en impacto ambiental y un economista en transporte y un jefe de estudios, razón por la cual no se puede atender debidamente la Ingeniería Básica de Hidrología y Drenaje.

Clima y meteorología

La zona presenta un clima variado entre templado frio y sub húmedo. La temperatura media anual fluctúa entre 6 y 12°C y las temperaturas medias mensuales no difieren más de 2°C de la media anual. Las temperaturas medias

diarias tampoco difieren significativamente respecto a la temperatura media mensual, se mantienen más o menos uniformes durante las 4 estaciones del año. Solo durante fines de otoño y durante todo el invierno las temperaturas mínimas fluctúan entre -10°C y 0°C .

El promedio de las precipitaciones pluviales totales por año varían entre 300 y 500mm las cuales se distribuyen durante los doce meses del año, de acuerdo a las estaciones, siendo el verano la estación mas lluviosa y donde se concentran del 60 al 70% del volumen total anual; en otoño disminuye hasta del 8 al 12%, en invierno las lluvias representan del 12 al 15% del total y finalmente en primavera, se reinicia el periodo de lluvias, principalmente a partir de octubre, acumulando durante esta estación 20 a 25% del total anual.

1.3 TRAMO EVALUADO km 74+000 – 84+000

Aspectos Geológicos

Orientación del estudio

Está orientado a la caracterización y comportamiento preliminar de las formaciones rocosas por las cuales atraviesa el eje proyectado de la vía, con la finalidad de identificar los posibles riesgos geológicos que pueden afectar a la vía.

De acuerdo al estudio geológico definitivo, la zona de Lunahuaná-Tinco Yauricocha se considera de vulnerabilidad media a alta ante los riesgos geológicos.

La zona de estudio entre las progresivas 74+000 – 84+000, se ubica en el cuadrángulo 26-I Tupe.

Geología del área de estudio

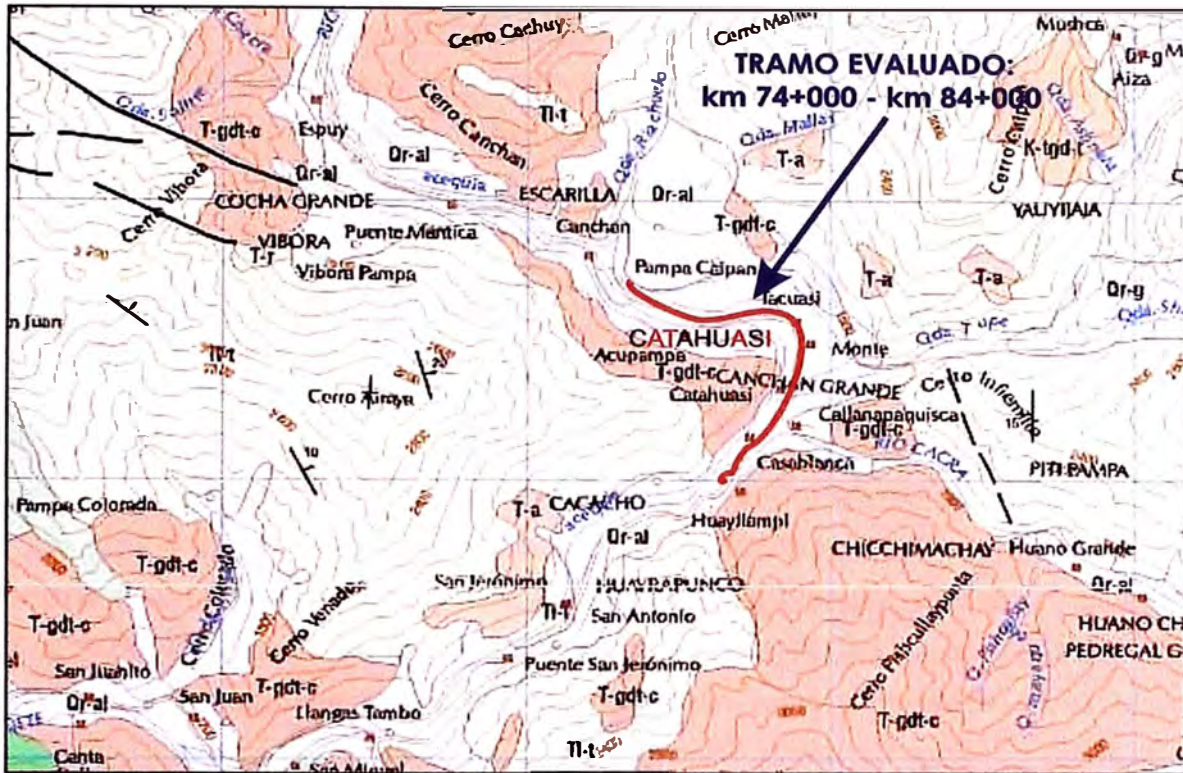
De acuerdo al Mapa Geológico del cuadrángulo de Tupe, las formaciones geológicas expuestas en la zona de estudio son:

Unidad Tupe, identificada como T-gdt-tu, es una roca intrusiva perteneciente al batolito de la costa cuya conformación geológica es granodiorita y tonalita.

Formación Tantara, identificada como Ti-t, perteneciente al Cenozoico terciario de la serie del Eoceno.

Depósitos aluviales, que forman el lecho del rio, pertenecen a la era cenozoica cuaternaria de la serie del Pleistoceno.

Figura N° 1.04 Mapa Geológico Regional



Fuente: INGEMMET. www.ingemmet.gob.pe

Figura N° 1.05 Unidades estratigráficas pertenecientes al cuadrángulo de Tupe

ERA	SIST.	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		ROCAS INTRUSIVAS			
			SECTOR OCCIDENTAL	SECTOR ORIENTAL				
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Dep. Fluvio-glaciares	Or-fg	Or-fg			
			Dep. Glaciares	Or-g	Or-g			
			Dep. Eluviales	Or-el	Or-el			
	PLEISTOCENO		Dep. Aluviales	Op-al				
	TERCIARIO	PLIOCENO		Disc.	Fm. Astobamba	Te-as		
					Disc.	Fm. Huachinga	Te-h	
		MIOCENO			Fm. Anguivilca	Te-a		
					Fm. Caudalosa	Te-ca		
				Fm. Castrovirreyña	Te-c	Fm. Castrovirreyña	Te-c	
OLIGOCENO		Gpo. Sacsáquero	Tm-sa	Gpo. Sacsáquero	Tm-sa			
	EOCENO		Fm. Tantara	Ti-t	Fm. Tantara	Ti-t		
			Disc.		Disc.	Fm. Castañaca	KaTi-c	
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR			Fm. Celendín	Ks-ce		
				Fm. Huarangulfo	Ks-hr	Fm. Jumacha	Ks-j	
		INFERIOR		Gpo. Imperial	Ki-i	Fm. Chulec Parlatambo	Ki-chp	
				Fm. Pamplona	Ki-pa	Gpo. Goyllanesutzga	Ki-g	
	JURASICO	SUPERIOR						
				Fm. Asia Gpo. Morro Solar	Ks-sm			
		MEDIO						
INFERIOR								

Fuente: INGEMMET. www.ingemmet.gob.pe

Los factores geológicos estructurales, geomorfológicos e hidrológicos juegan un rol importante en el comportamiento geodinámico de la cuenca del río Cañete. Se han podido detectar eventos como deslizamientos, derrumbes, erosión fluvial, huaycos, erosión de laderas, entre otros, que han modificado y modifican el relieve de la cuenca. Sin embargo, en la zona de estudio no existen tramos con problemas de huaycos en estación lluviosa, ni con problemas de taludes inestables, de acuerdo al estudio realizado por el Consorcio Gestión de Carreteras.

Aspectos Geotécnicos

Los estudios realizados por el Consorcio Gestión de Carreteras correspondientes a los suelos y materiales de construcción, encontraron que del km 57+000 al km 130+000 el material predominante es arena y grava limosa, que en el sistema SUCS clasifica como GC-GM y en el sistema AASHTO es variable entre A-1-b (0) y A-2-4(0) con presencia de bolonerías en poca proporción en la capa superior, mientras que a partir de 0.40m de profundidad aumenta su presencia 50% y entre el km 130+000 al km 258+000 se encuentran suelos tipo arenas gravas limosas y arcillosas clasificados en el sistema SUCS como GC, GC-GM, SC, SC-SM y en el ASHTO, A-2-4(0)

Los estudios de suelo se realizaron a 1.5m de profundidad y teniendo valores de CBR tales como se muestran en el cuadro:

Cuadro N° 1.01 Sectores de la carretera

SECTOR		CBR (%)	M _R (psi)
I: Zúñiga – Dv Yauyos – Alis	57+450 – 130+000	20	13 201
	130+000 – 163+100	18	12 745
II: Alis – San José de Quero	163+100 – 220+000	18	12 745
	220+000 – 229+300	5	7 500
	229+300 – 240+000	5	7 500
III: San José de Quero - Ronchas	240+000 – 248+000	15	11 956
	248+000 – 255+185	4	6 000

Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras CGC

Tráfico vehicular

La información del estudio del tráfico corresponde al realizado por el Consorcio encargado del mantenimiento, con fecha de abril de 2008. Es posible que estos valores en la actualidad hayan aumentado por efecto de las obras de mantenimiento realizadas en la carretera. A continuación se presenta el cuadro resumen.

Cuadro N° 1.02 Tránsito de vehículos

Tipo de vehículo	Lunahuaná		Pacarán		Zúñiga		Dv. Yauyos		Ronchas	
	Veh	%	Veh	%	Veh	%	Veh	%	Veh	%
Automóvil	79	19	127	30	3	6	186	54	310	68
Cmta. Pick Up	131	31	96	23	18	34	31	9	26	6
Cmta. Rural	120	29	105	25	4	8	37	11	33	7
Micro	12	3	17	4	0	0	5	1	5	1
Omnibus >= 2 ejes	10	2	8	2	8	15	8	2	9	2
Camión >= 2 ejes	49	12	46	11	20	38	44	13	41	9
Semitrailer	16	4	19	5	0	0	36	10	30	7
TOTAL	417	100	418	100	53	100	347	100	454	100

Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras CGC. Abril 2008

De acuerdo a los estudios de tráfico se aplicaron las siguientes estructuras del pavimento para cada tramo.

Cuadro N° 1.03 Tratamiento superficial por tramos

SECTOR		ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO		
		Tratamiento superficial Monocapa (cm)	Afirmado estabilizado con emulsión (cm)	Afirmado (cm)
I: Zúñiga – Dv Yauyos – Alis	57+450 – 130+000	0,9	5	8
	130+000 – 163+100	0,9	5	11
II: Alis – San José de Quero	163+100 – 200+000	0,9	5	11
	200+000 – 220+000	0,9	5	17
	220+000 – 229+300	0,9	5	45
III: San José de Quero - Ronchas	229+300 – 240+000	0,9	5	40
	240+000 – 248+000	0,9	5	20
	248+000 – 255+185	0,9	5	42

Fuente: Consorcio Gestión de Carreteras CGC. Abril 2008

CAPITULO II: PLANTEAMIENTOS INICIALES

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los procedimientos empleados para el uso de los datos obtenidos con la viga Benkelman no han alcanzado un buen nivel de desarrollo. Los datos obtenidos con estas mediciones son empleados sin tener un proceso de selección de datos que permita una clasificación o sectorización adecuada de tramos con el que pueda determinarse el estado actual del pavimento. Es así que el objetivo principal del presente informe es desarrollar una metodología que permita ir de una discriminación cualitativa a una discriminación cuantitativa de datos del pavimento.

Figura N° 2.01 Proceso de discriminación de datos



2.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO

Objetivo principal

Desarrollar una metodología de discriminación de datos para la sectorización o “tramificación” de la carretera Cañete – Chupaca.

Objetivos específicos

- Aplicar un modelo estadístico de clasificación de los tramos de la carretera que ayude a establecer un modelo de deterioro confiable del pavimento.
- Aportar en la evaluación de la carretera Cañete – Chupaca en el marco del contrato UNI-MTC.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La evaluación estructural de los pavimentos es importante por las siguientes razones: la primera es la necesidad por lograr la optimización en sus costos de conservación, dando un mantenimiento oportuno (ni antes ni después de lo requerido), y la segunda para poder estimar el tiempo de vida restante en la carretera, o dicho de otro modo, conocer el instante en el cual el pavimento comienza a fallar.

CAPITULO III: ESTADO DEL ARTE

3.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

La preocupación por evaluar las carreteras sin provocar daños en la misma ha significado la aparición de varios métodos de ensayos no destructivos, considerando particularmente la medida de las deflexiones de los pavimentos al aplicársele una carga como la base para el cálculo del módulo de elasticidad o el CBR.

3.1.1 Viga Benkelman

Este deflectómetro funciona bajo el principio de brazo de palanca, consta de dos brazos pivoteados cuyas relaciones son generalmente de 4 a 1. El brazo mayor está en contacto con el suelo, mientras que el menor tiene incorporado un dial en el que se van midiendo la recuperación del suelo cuando una carga va alejándose de la viga. Más detalle de este deflectómetro se verá en el siguiente capítulo.

Figura N° 3.01 Ensayo con viga Benkelman en la carretera Cañete – Yauyos. Nov. 2010



3.1.2 Sistema Dynaflect

Es un sistema acoplado, montado, que puede ser remolcado por un vehículo estándar. Cuenta con un peso estático el cual se aplica al pavimento con un par de ruedas de acero rígidas. Un generador dinámico se usa para producir una fuerza de hasta 4.45kN. El diseño ligero de Dynaflect permite que un hombre pueda hacer mediciones de deformación en menos de un minuto sobre cualquier

superficie que soporte el peso del vehículo. Independientemente de la condición del pavimento o de la superficie del suelo, no hay efectos nocivos que puedan desarrollarse a partir de la utilización de este equipo. Más detalle puede encontrarse en el libro de HUANG. Yang H: "Pavement analysis and design".

Figura N° 3.02 Equipo Dynaflect



Fuente: Internet, http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/09_pavement_evaluation/09-5_body.htm

3.1.3 Deflectómetro FWD

El Deflectómetro Falling- Weight (FWD) se emplea con frecuencia en USA, es un sistema Dynatest modelo 8000. La fuerza de impulso es creada soltando un peso sobre una placa que va apoyada en el pavimento. Permite medir las deflexiones del pavimento producidas por una carga sinusoidal que impacta sobre una placa de carga. Posee 07 transductores de medida.

Figura N° 3.03 Deflectómetro Falling-Weight (FWD)



Fuente internet: <http://www.ce.umn.edu/~guzina/>

3.2 MODELOS DE DISCRIMINACIÓN DE DATOS

Discriminación, desde el punto de vista técnico, es el acto o proceso de separación y/o formación de grupos de datos a partir de un criterio o criterios determinados. En su sentido más amplio, la discriminación es una manera de ordenar y clasificar y puede referirse a cualquier ámbito, utilizándose cualquier criterio. Estos modelos de discriminación varían según el tipo de información o datos que se desee clasificar, por ende son planteados en todo ámbito de la ciencia.

Uno de los métodos planteados para la discriminación de datos en la evaluación estructural de carreteras es el planteado por el Consorcio de Rehabilitación Vial – Conrevial, que realiza un análisis estadístico de los valores de deflexión recogidos en el campo con la viga Benkelman.

3.2.1 Análisis Estadístico Multivariante

Los métodos de análisis estadístico multivariante, son procedimientos estadísticos que permiten estudiar y clasificar objetos por medio de múltiples variables y agruparlas siguiendo un criterio determinado.

Existen varios métodos de análisis multivariante: el análisis de componentes principales, el análisis discriminante, el análisis factorial, el análisis de correlación canónica y el de conglomerados. Todos estos análisis son variaciones de un mismo tema donde el objetivo principal es presentar diferentes desgloses de las varianzas de un conjunto de datos y someterlos a una serie de pruebas estadísticas para determinar el grado de asociación entre las variables. Mas información puede encontrarse en el libro de MUÑOZ GIRO, Juan: “Técnicas de Análisis Multivariante”. Enero 2005.

3.2.2 Análisis Estadístico “t” de Student (Método Conrevial)

El Consorcio de Rehabilitación Vial (Conrevial) en el documento “Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País” para el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, ha elaborado las bases para un manual de proyectos de rehabilitación. En este documento establece una metodología para la discriminación de los datos para pavimentos flexibles, realizando una evaluación estructural por deflectometría.

La metodología Conrevial parte de unos supuestos:

1. Diferencia las secciones de distinta capacidad estructural y/o comportamiento, considerando deflexiones, fallas observadas y estructura del pavimento, que son procesadas estadísticamente.
2. Elimina valores extremos aislados, no representativos y que distorsionan los resultados.
3. Las deflexiones máximas medidas en una sección de pavimento, presentan una distribución de frecuencias que se asemeja a una distribución normal.

A partir cada sector, se calcula la deflexión máxima media (D_m) y su correspondiente desviación estándar (σ). Para cuestiones de diseño emplea la deflexión característica (D_c), que viene dada por:

$$D_c = D_m + t \cdot \sigma \quad (1)$$

El valor de "t" corresponde a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la característica, cuyo valor es una decisión técnico económica, del grado de confiabilidad y de la relación entre los costos de mantenimiento y rehabilitación. Así:

Si:

$$D_c > D_{adm} \quad (2),$$

el pavimento requiere mantenimiento y/o algún tipo de rehabilitación.

Si:

$$D_c < D_{adm} \quad (3),$$

el pavimento no requiere mantenimiento y/o tiene un adecuado comportamiento estructural.

Donde D_{adm} : Deflexión admisible.

La deflexión admisible está dada por:

$$D_{adm} = \sqrt[4]{\frac{1.15}{N}} \quad (4)$$

Donde N: Número de ejes estándares equivalentes de 8,2 toneladas acumuladas en el período de diseño.

Si bien la fórmula (4) es empírica, servirá de referencia para verificar la variación de la deflexión característica para distintas desviaciones estándares. Esto se verá más adelante.

Para comprobar si dos sectores son significativamente diferentes o si deben homogeneizarse, existe un criterio estadístico que consiste en que el valor medio de los dos debe tender a la coincidencia. Con esta hipótesis el criterio de aceptación estaría dado por:

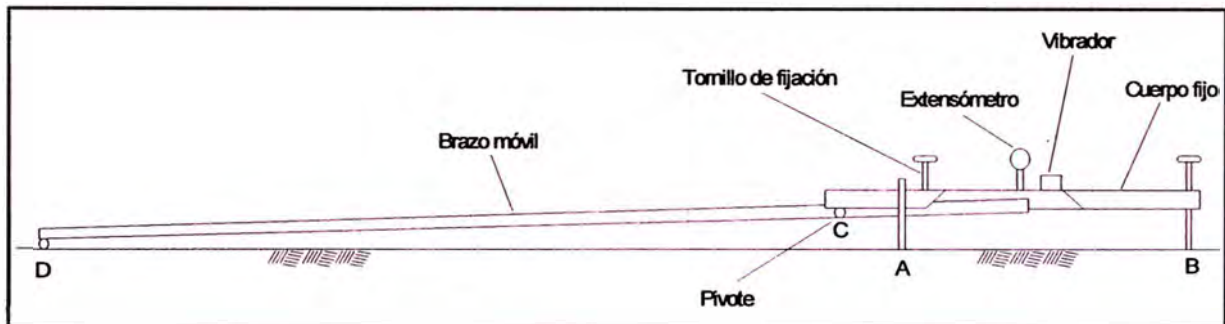
Si: $-t_{\alpha/2; \nu/2} \leq t' \leq t_{\alpha/2; \nu/2}$, las secciones deben homogeneizarse.

CAPITULO IV: MARCO TEÓRICO

4.1 LA VIGA BENKELMAN

Este deflectómetro funciona bajo el principio de brazo de palanca, consta de dos brazos pivoteados cuyas relaciones son generalmente de 4 a 1. El brazo mayor está en contacto con el suelo, mientras que el menor tiene incorporado un dial en el que se van midiendo la recuperación del suelo cuando una carga va alejándose de la viga

Figura N° 4.01 Esquema de la viga Benkelman



Equipo Requerido:

1. Deflectómetro Viga Benkelman.
2. Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0,01mm.
3. Camión cargado, con eje trasero de 18 000lbs igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85psi.
4. Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo.
5. Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
6. Accesorios de medición y varios (cinta métrica de 3m, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal ó madera de 2m, alambre de amarre, etc).

Procedimiento en el Campo

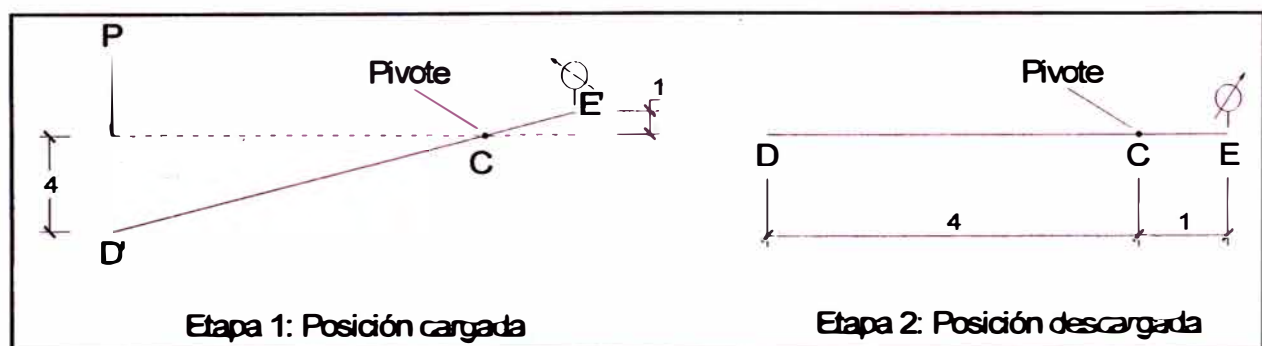
La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000lbs (4090kg) y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida.

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo, se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que ésta coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto.

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 25, 50 y 75cm).

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir la varilla vertical y la marca inicial, se verificará que ésta esté alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5m), registro que corresponde al punto de referencia con "deflexión cero". Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de 3 operadores: Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez dé aviso cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga. Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por un Ingeniero de Campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo así como tomará anotación de cualquier factor que a juicio pueda explicar los resultados. La fig. 4.02 explica el principio de operación de la viga Benkelman. Mayor información está detallada en el "Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el País" del Conreval.

Figura N° 4.02 Principio de operación de la viga Benkelman



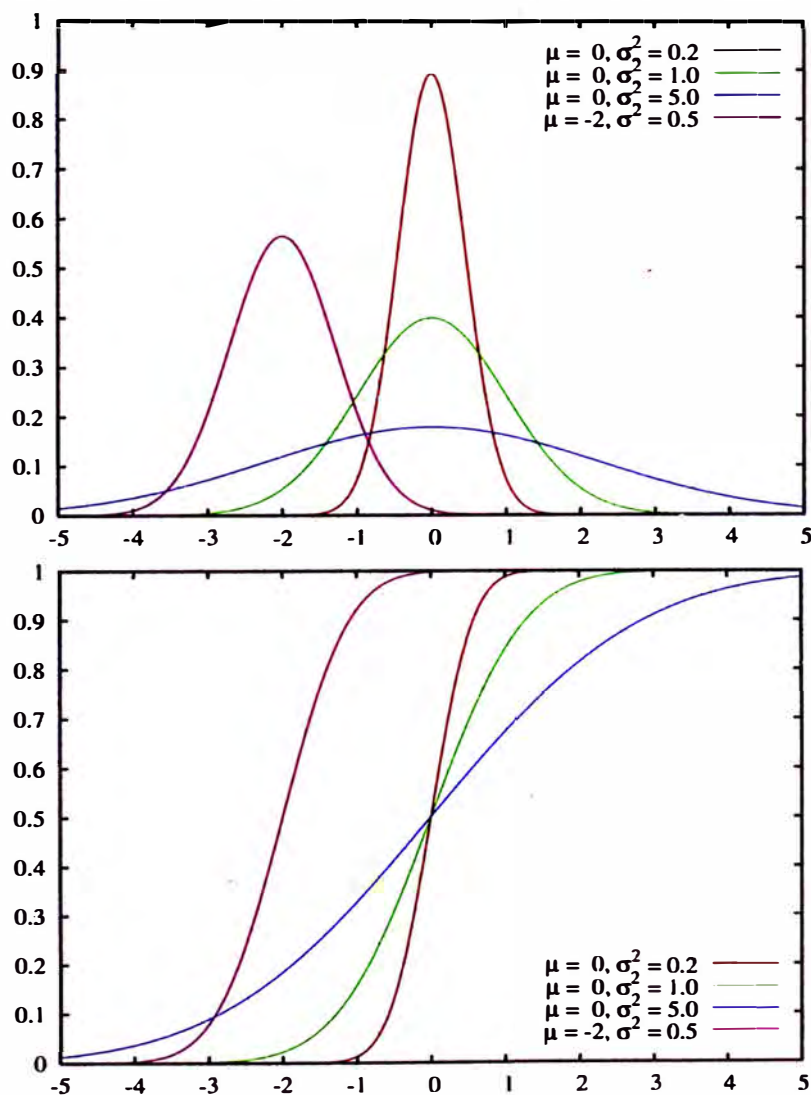
4.2 HERRAMIENTA ESTADÍSTICA PARA DISCRIMINACIÓN DE DATOS

4.2.1 Conceptos Previos

Distribución Normal

Se llama distribución Normal, distribución de Gauss o distribución gaussiana, a una de las distribuciones de probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece en fenómenos reales. Permite modelar numerosos fenómenos naturales, sociales y psicológicos. Su definición formal se basa en la función de densidad y en la función de distribución acumulativa.

Figura N° 4.03 Función de densidad y función de distribución de la distribución Normal



Función de densidad

Usualmente denominada $f(x)$, describe la densidad de la probabilidad en cada punto del espacio de tal manera que la probabilidad de que la variable aleatoria tome un valor dentro de un determinado conjunto sea la integral de la función de densidad sobre dicho conjunto.

Se dice que una variable aleatoria continua X sigue una distribución normal de parámetros μ y σ y se denota $X \sim N(\mu, \sigma)$ si su función de densidad está dada por:

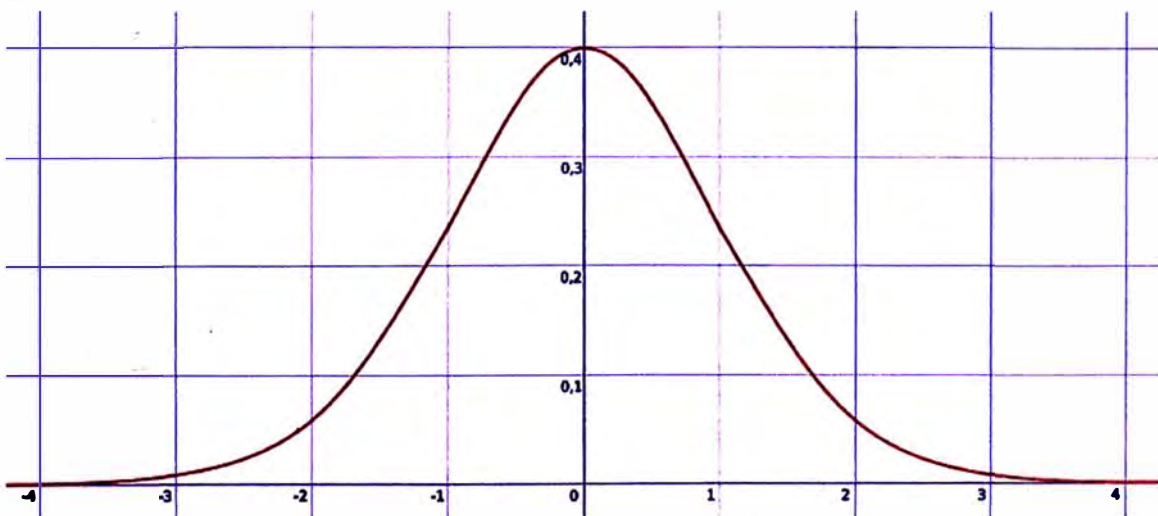
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad x \in R \quad (5)$$

Se llama distribución normal "estándar" a aquella en la que sus parámetros toman los valores $\mu = 0$ y $\sigma = 1$. En este caso la función de densidad tiene la siguiente expresión:

$$f(x) = f_{0,1}(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}, \quad x \in R \quad (6)$$

Su gráfica se muestra a la derecha y con frecuencia se usan tablas para el cálculo de los valores de su distribución

Figura N° 4.04 Función de Densidad de la distribución Normal estándar.



Función de distribución acumulativa (CDF)

La función de distribución acumulativa o función de distribución de probabilidad está definida como sigue:

$$\Phi_{\mu, \sigma^2}(x) = \int_{-\infty}^x \varphi_{\mu, \sigma^2}(u) du \quad (7)$$

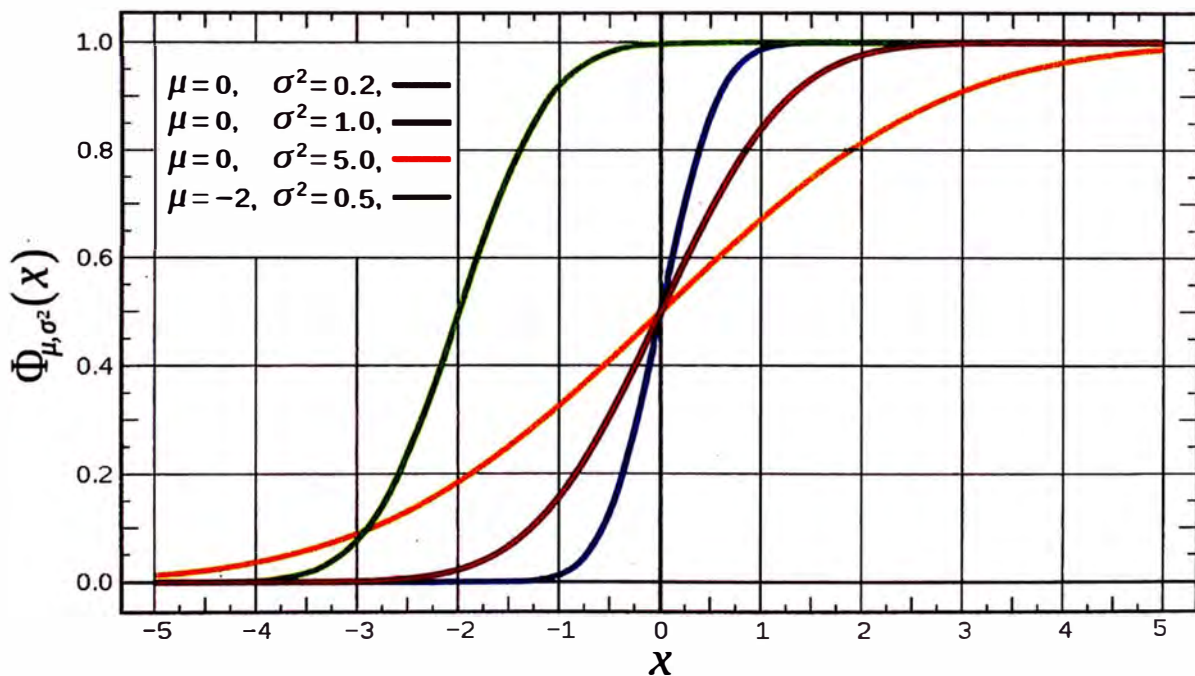
ó

$$\Phi_{\mu, \sigma^2}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}} du, x \in R \quad (8)$$

Por tanto, la función de distribución de la normal estándar es:

$$\Phi(x) = \Phi_{0,1}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du, x \in R \quad (9)$$

Figura N° 4.05 Función de distribución Normal.



Prueba de Hipótesis

Para saber qué es una prueba de hipótesis, se debe saber primero qué es hipótesis.

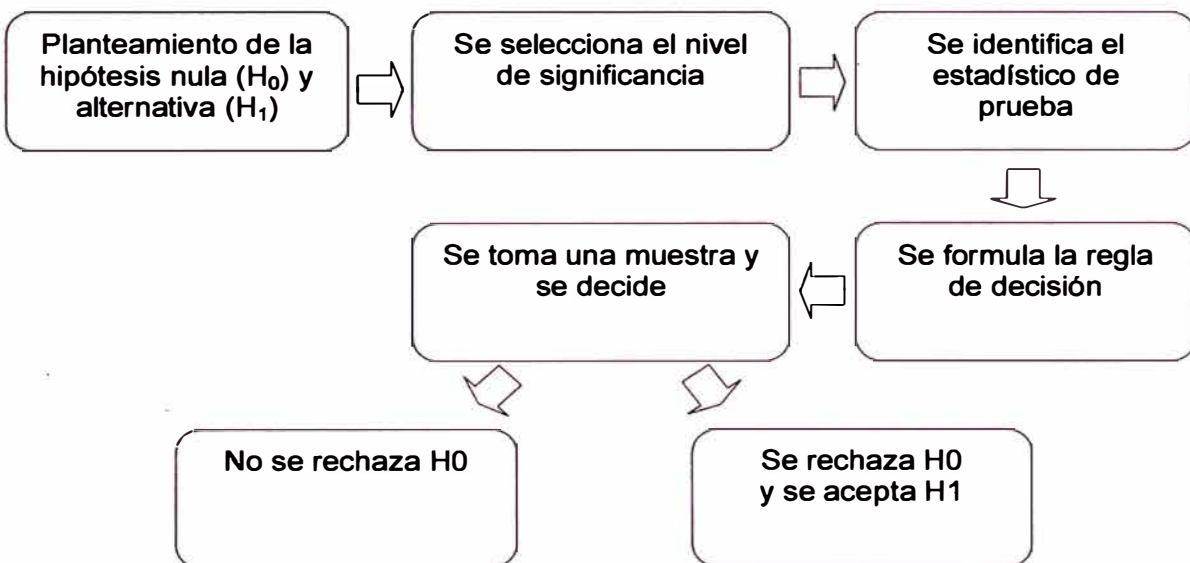
Hipótesis es una aseveración de una población elaborado con el propósito de poner a prueba, para verificar si la afirmación es razonable se usan datos.

En el análisis estadístico se hace una aseveración, es decir, se plantea una hipótesis, después se hacen las pruebas para verificar la aseveración o para determinar que no es verdadera.

Por tanto, la prueba de hipótesis es un procedimiento basado en la evidencia muestral y la teoría de probabilidad; se emplea para determinar si la hipótesis es una afirmación razonable.

La prueba de una hipótesis se realiza mediante un procedimiento sistemático de cinco pasos:

Figura N° 4.06 Procedimiento sistemático que conlleva a rechazar o no rechazar la hipótesis nula.



P-valor

El P-valor o valor P está definido como la probabilidad de obtener un resultado al menos tan extremo como el que realmente se ha obtenido (valor del estadístico calculado), suponiendo que la hipótesis nula es cierta. Es fundamental tener en cuenta que el P-valor está basado en la asunción de la hipótesis de partida (o hipótesis nula).

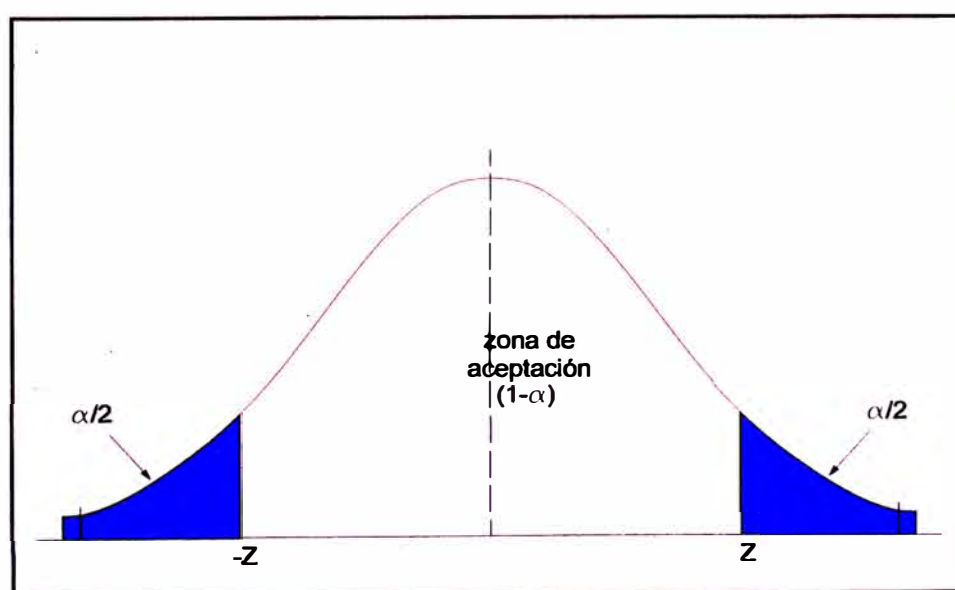
Se rechaza la hipótesis nula si el P-valor asociado al resultado observado es igual o menor que el nivel de significación establecido, convencionalmente 0,05 ó 0,01, punto que se llama potencia del contraste. Es decir, el P-valor nos muestra la probabilidad de haber obtenido el resultado que hemos obtenido si suponemos que la hipótesis nula es cierta. Si el P-valor es inferior a la potencia del contraste nos indica que lo más probable es que la hipótesis de partida sea falsa. Sin embargo, también es posible que estemos ante una observación atípica, por lo que estaríamos cometiendo el error estadístico de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es cierta basándonos en que hemos tenido la mala suerte de encontrar una observación atípica.

El P-valor oscila entre 0 y 1. Así, se suele decir que valores altos no rechazan la hipótesis nula o, dicho de forma correcta, no permiten rechazar la H_0 . De igual manera, valores bajos de P-valor rechazan H_0 .

Nivel de significancia (α)

Probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. Se le denota mediante la letra griega α , también es denominada como nivel de riesgo, este término es más adecuado ya que se corre el riesgo de rechazar la hipótesis nula, cuando en realidad es verdadera. Este nivel está bajo el control de la persona que realiza la prueba.

Figura N° 4.07 Nivel de significancia.



Prueba o test de Normalidad

Los tests de normalidad se aplican a conjuntos de datos para determinar su similitud con una distribución normal. La hipótesis nula es, en estos casos, si el conjunto de datos es similar a una distribución normal, por lo que un P-valor suficientemente pequeño indica datos no normales.

Existen varios métodos no paramétricos para evaluar la normalidad de una distribución. Presentamos una lista de las cuales se hará la aplicación con la herramienta estadística en el siguiente punto.

- Prueba de Kolmogórov-Smirnov
- Test de Lilliefors
- Test de Anderson-Darling
- Test de Ryan-Joiner
- Test de Shapiro-Wilk
- Normal probability plot (rankit plot)
- Test de Jarque-Bera
- Test omnibús de Spiegelhalter

4.2.2 Uso de herramienta estadística

El Minitab es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. En el desarrollo del siguiente capítulo, donde se abordará la propuesta a aplicar, se emplearán las funciones y test del cuadro No 4.01.

Cuadro N° 4.01 Funciones y Pruebas usadas en el Minitab.

Histograma de frecuencias	Graph – Histograma.
Series de tiempo	Graph – Time Series Plot.
Función de distribución acumulativa (CDF)	Graph – Empirical CDF
Bootstrap	Desde la ventana de sesión
Prueba de Kolmogórov - Smirnov	Stat – Basic Statistics – Normality Test
Prueba de Shapiro - Wilk	Stat – Basic Statistics – Normality Test
Prueba de Mann - Whitney	Stat – Nonparametrics – Mann Whitney

4.2.3 Bootstrap

Las técnicas de remuestreo se caracterizan por la obtención de submuestras a partir de los datos que constituyen la muestra original, permitiendo evaluar

diferentes propiedades de los estimadores. En este sentido, la técnica Bootstrap es considerada como un plan de remuestreo, posibilitando estudiar el error estadístico, ya sea en cuanto a sesgo, error estándar o tasa de error en una predicción. La manera en la cual la estrategia bootstrap realiza el remuestreo queda sintetizada en los siguientes pasos, englobados dentro del proceso de estimación bootstrap:

- Se selecciona un estadístico de interés, sea media, mediana, correlación, tasa de error –en análisis discriminante, por ejemplo–, etc.
- Se obtiene una muestra correspondiente a la realización de “n” variables aleatorias idéntica e independientemente distribuidas, sin perder la generalidad. Se representa esta muestra original mediante (x_1, x_2, \dots, x_n) .
- Se debe decidir cómo se estimará la distribución F, ya sea mediante bootstrap no paramétrico, paramétrico o suavizado. Este paso está ligado a la técnica Monte Carlo.
- Mediante la técnica Monte Carlo, se obtiene un valor de la variable aleatoria x. Iterando este proceso “n” veces, se obtiene un conjunto de datos que constituyen la denominada muestra bootstrap, que se representa mediante la notación (x_1, x_2, \dots, x_z) , denotando i que son los datos correspondientes a la i-ésima muestra bootstrap. Para cada una de estas muestras se obtiene el estadístico de interés que, para diferenciarlo del calculado sobre los valores de la muestra original, puede denotarse mediante otras variables
- Repitiendo el apartado anterior el número de veces que se determine, supongamos que sean “b” ocasiones, se obtendrá la cantidad correspondiente de estimaciones del estadístico.

Una vez generadas las distintas muestras bootstrap, es factible realizar diferentes estimaciones del error estadístico, además de obtener estimaciones sobre parámetros de interés. Información acerca de ello puede encontrarse en el libro “Bootstrap: fundamentos e introducción a sus aplicaciones” de Antonio Solanas y Vicente Sierra. Universidad de Barcelona. 1992.

El anexo No 2 muestra la macro utilizada con la herramienta estadística.

4.2.4 Prueba de Kolmogórov – Smirnov.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov con la modificación de Lilliefors es la más utilizada y se considera uno de los test más potentes para muestra mayores de 30 casos. En este test la Hipótesis nula H_0 : es que el conjunto de datos siguen una distribución normal. Y la Hipótesis Alternativa H_1 : es que no sigue una distribución normal

Este test se basa en evaluar un estadístico. Si el valor del estadístico supera un determinado valor, que depende del nivel de significación con el que uno quiera rechazar la hipótesis nula, diremos que esa colección de datos no se distribuye según una distribución normal

4.2.5 Prueba de Shapiro – Wilk

La prueba de Shapiro-Wilks se basa en estudiar el ajuste de los datos graficados sobre un gráfico probabilístico en el que cada dato es un punto cuyo valor de abscisa el valor observado de probabilidad para un valor determinado de la variable, y el de ordenada el valor esperado de probabilidad. En este test la H_0 y la H_1 son iguales que para la prueba anterior.

El estadístico W de Shapiro-Wilks mide la fuerza del ajuste con una recta. Cuanto mayor sea este estadístico mayor desacuerdo habrá con la recta de normalidad, por lo que podremos rechazar la hipótesis nula. La prueba de Shapiro-Wilks está considerada como la prueba más potente para muestra inferiores a 30 casos.

CAPITULO V: PROPUESTA METODOLÓGICA

5.1 DISCRIMINACIÓN DE MEDICIONES

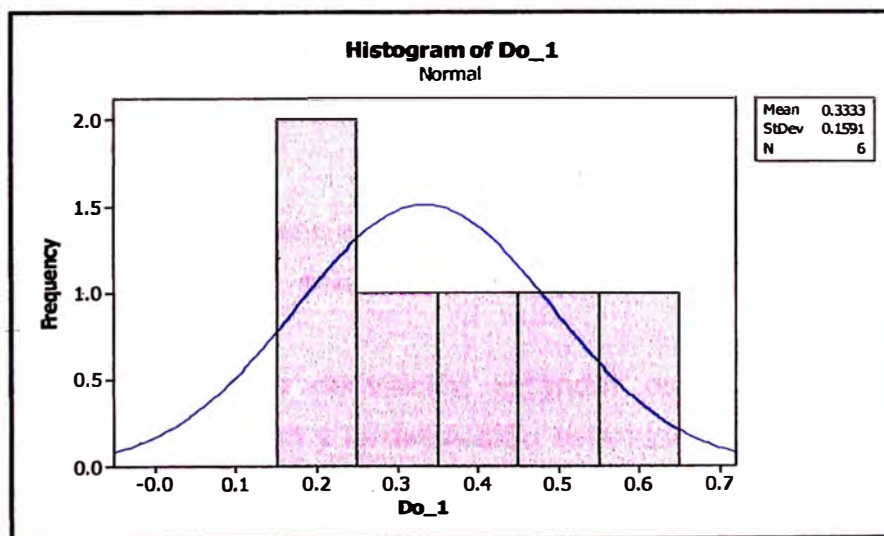
5.1.1 Problemas previos.

Método “t” de Student para carreteras de bajo volumen de tránsito (Conreval).

En el análisis estadístico de las deflexiones máximas, se observa que para cada sector, éstas satisfacen la prueba de normalidad; sin embargo, la cantidad de datos tomados en campo es tan pequeña que no nos permite conocer el valor real de la desviación estándar “ σ ”. Las figuras 5.01(a) y 5.01(b) muestran el histograma del sector 1 y su curva de probabilidad. Si bien el P-valor es mayor que 0.05, el histograma de frecuencias evidencia una desviación estándar alta para estos 6 puntos. De este modo, según las expresiones (1), (2) y (3), las deflexiones características resultan tan elevadas que podría suponerse mayores a la deflexión admisible y por ende, sugerirse la rehabilitación de todo el tramo evaluado de la carretera a pesar de estar en la actualidad en buenas condiciones de serviciabilidad.

La técnica Bootstrap permite obtener el valor de la desviación estándar suponiendo que se tienen más datos recogidos de campo, es decir, el histograma que se muestra en la figura 5.01(a) tendería cada vez más a la forma del histograma de la figura 5.01(c).

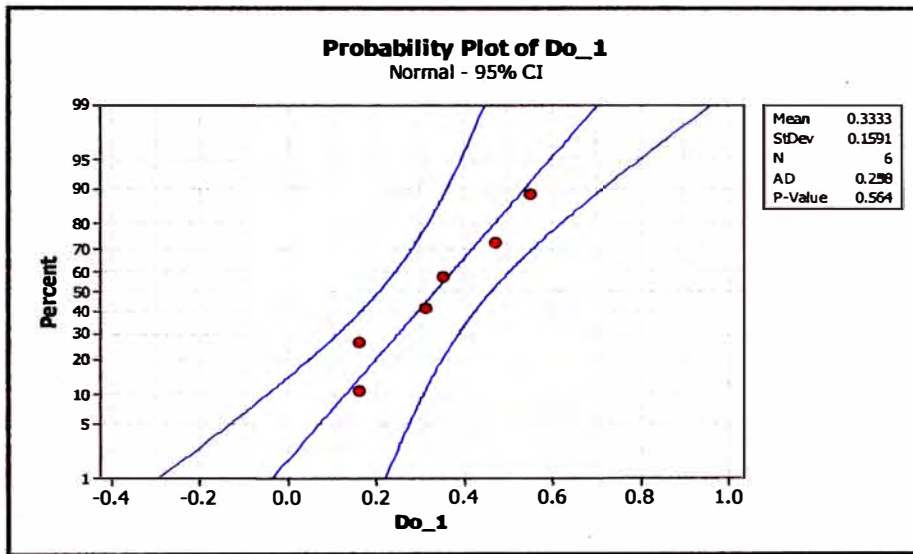
Figura Nº 5.01 Histograma, curva de probabilidad y distribución Bootstrap del sector 1



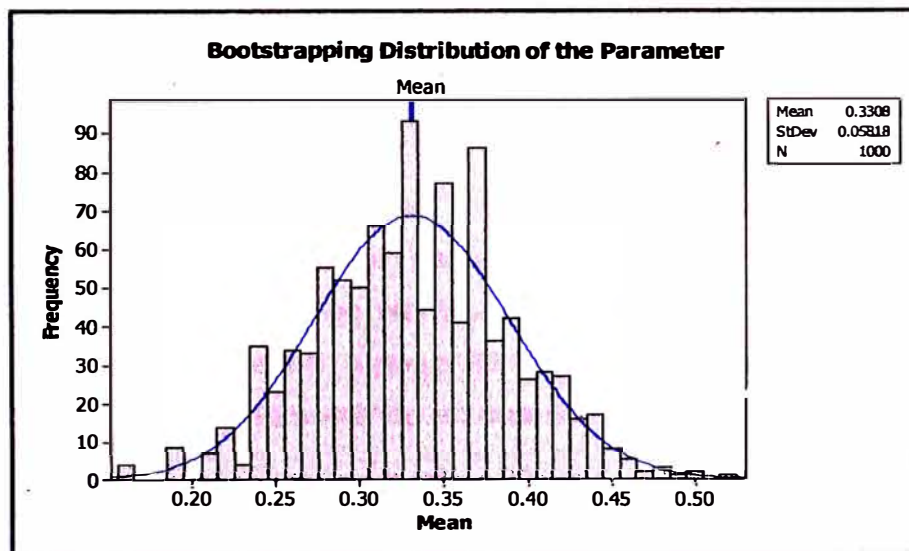
(a) Histograma de frecuencias del sector 1

Figura Nº 5.01 (continuación): Histograma, curva de probabilidad y distribución Bootstrap del sector

1



(b) Curva de probabilidad del sector 1



(c) Distribución Bootstrap del sector 1

Con un histograma de frecuencias acampanado como el de la figura 5.01(c), se entiende que la desviación estándar converge a un valor más razonable a utilizar.

El cuadro 5.01 compara la desviación estándar calculada con 6 datos de deflexión recogidos de campo y la desviación estándar calculada con el método Bootstrap para los sectores 1, 5 y 10. Se muestra también la deflexión admisible calculada con la expresión (4), asumiendo un número de ejes equivalentes,

N= 10. Un análisis sencillo de este cuadro nos lleva a la conclusión de rehabilitar los tres tramos si se asume como desviación estándar la que resulta de los 6 datos tomados de campo.

Cuadro N° 5.01 Comparación de la desviación estándar para 6 datos de deflexión vs. desviación estándar aplicando el método Bootstrap, y su relación con la deflexión admisible

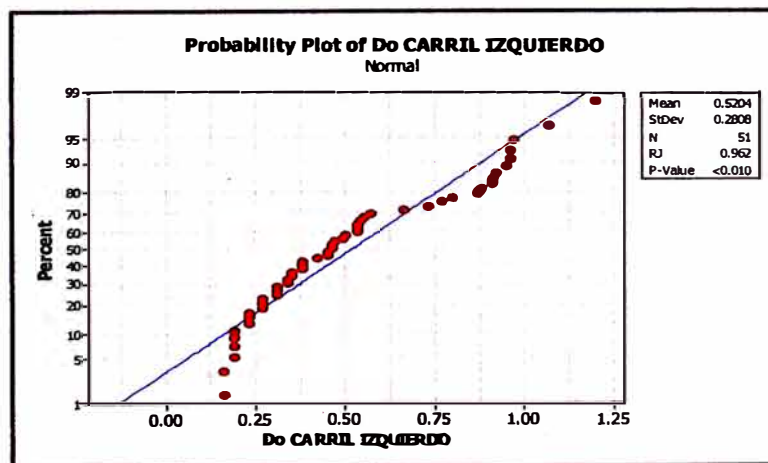
Sector	Sector 1		Sector 5		Sector 10	
	6 datos	Bootstrap	6 datos	Bootstrap	6 datos	Bootstrap
Deflexión máxima media Do (mm)	0,3307	0,2766	0,5028	0,5028	0,7947	0,7947
Número de datos por sector (n)	6	6	6	6	6	6
t (al 95% de confianza)	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015
Desviación estándar (σ)	0,1591	0,0582	0,0933	0,0336	0,3116	0,1144
Deflexión característica Dc (mm)	0,6513	0,3938	0,6907	0,5706	1,4226	1,0252
Número de ejes equivalentes (N)	10	10	10	10	10	10
Deflexión admisible Dadm (mm)	0,582	0,582	0,582	0,582	0,582	0,582

Por tanto, la propuesta contempla el uso del método Bootstrap para el cálculo de la desviación estándar.

Prueba de Normalidad a todo el tramo.

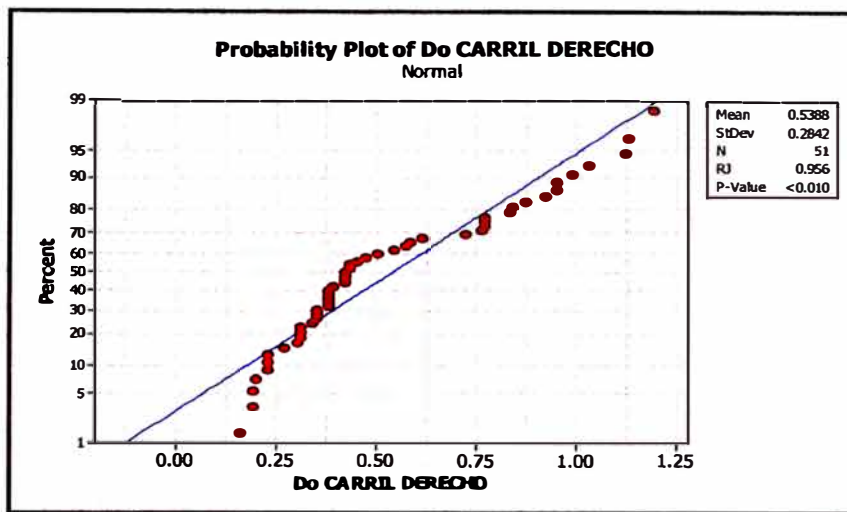
Al realizar el test de normalidad según Shapiro-Wilk en todo el tramo, se evidencia un comportamiento no Normal como se ve en la figura 5.02 para el carril izquierdo y carril derecho, a pesar de que según la “tramificación”, el tramo evaluado es considerado homogéneo en cuanto a deflexiones (fig. 5.03).

Figura N° 5.02 Test de Normalidad en carril izquierdo y derecho. Muestran un P-valor menor de 0.05.



(a) Test de Normalidad en carril izquierdo.

Figura N° 5.02 (continuación). Test de Normalidad en carril izquierdo y derecho. Muestran un P-valor menor de 0.05.



(b) Test de Normalidad en carril derecho.

Eliminación de valores extremos.

El método usado por el Conreval plantea también la eliminación de valores extremos aislados, no representativos y que distorsionan los resultados. Sin embargo, se demuestra que en carreteras de bajo volumen de tránsito no es posible hacer tal eliminación de datos, pues se pueden obtener deflexiones grandes sin suponer que han sido mal tomadas, como ha ocurrido realmente.

Por consiguiente, la propuesta no elimina ningún dato.

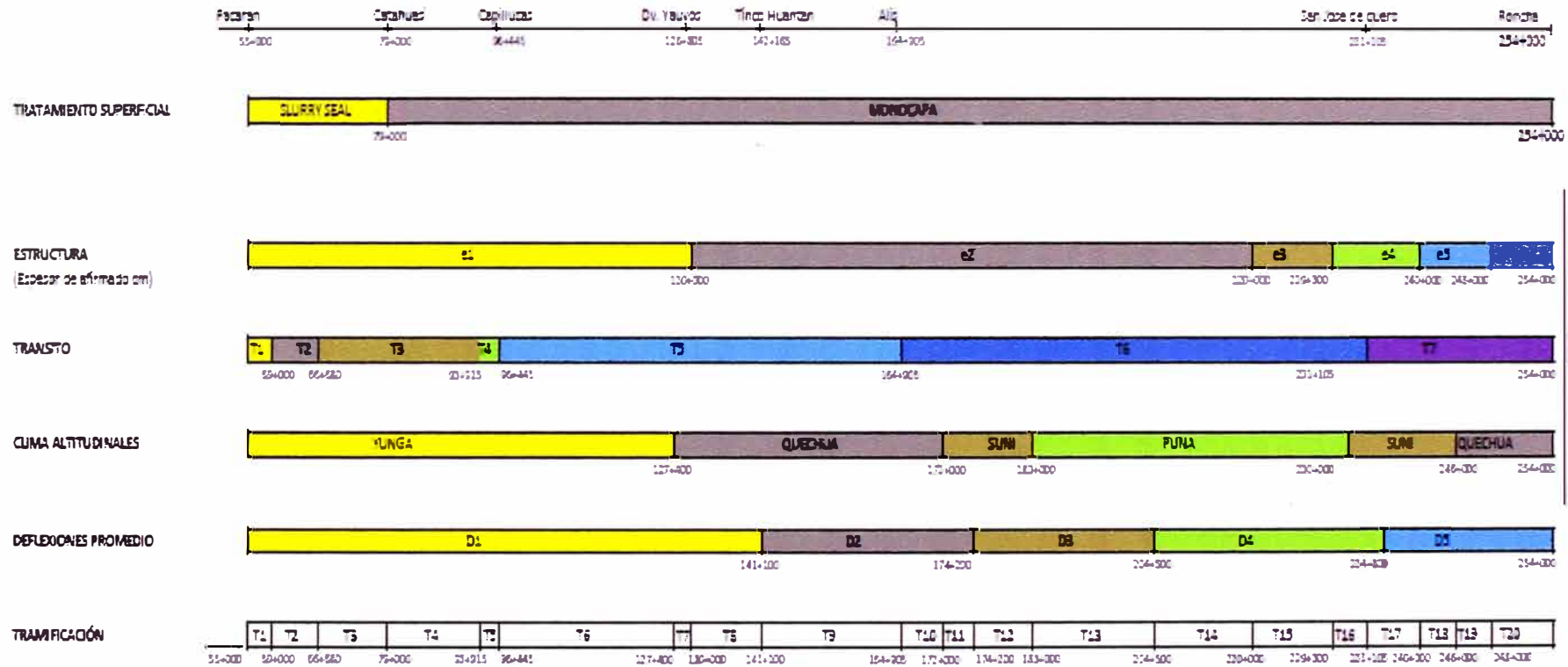
La sectorización del tramo evaluado

Otro de los puntos que se plantea es la sectorización del tramo evaluado y su contraste con la "tramificación" establecida previamente (fig. 5.03). Se trata de sectorizaciones a distinto nivel. Mientras una considera sectores de hasta casi 20km, la propuesta plantea sectores de 1km de longitud y por cada lado de llanta, con 20 sectores en total.

Sin embargo, estas dos sectorizaciones pueden considerarse como complementarias entre sí, proponiéndose la "tramificación" mayor como base para la "tramificación" más pequeña.

Figura N° 5.03 Tramificación de la Carretera Pacarán – Ronchas

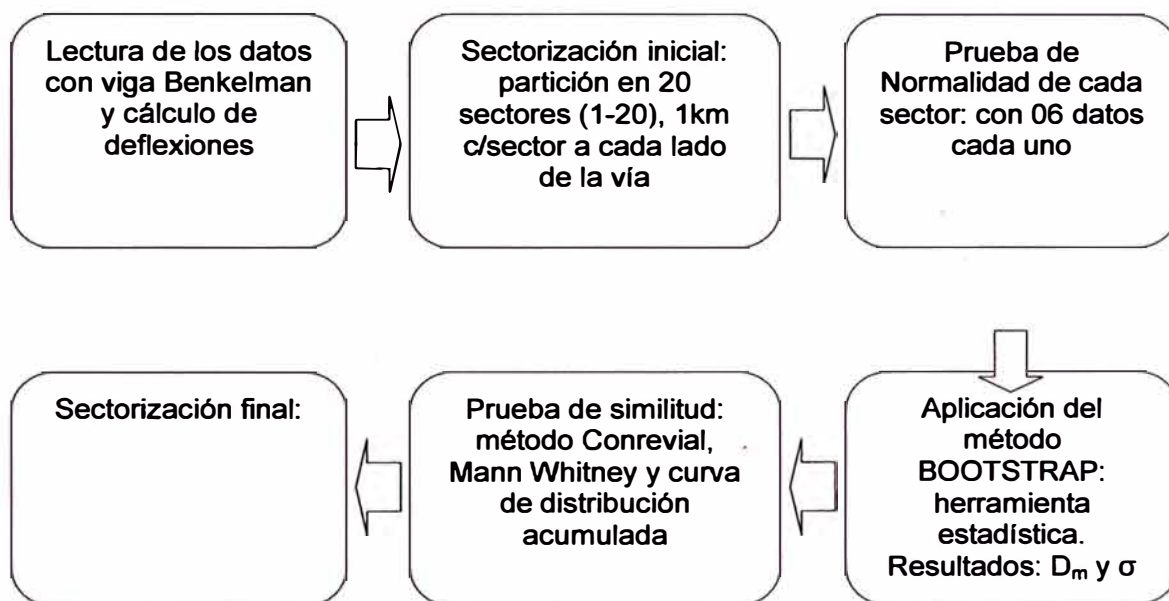
TRAMIFICACIÓN



5.1.2 Secuencia aplicada para la discriminación de mediciones

La discriminación de mediciones que se plantea en este trabajo consiste en realizar un adecuado reagrupamiento de sectores de la vía, de modo que se les pueda aplicar un mismo tratamiento. en la figura No 5.04 se presenta la secuencia a seguir.

Figura N° 5.04 Secuencia de la discriminación de datos



5.1.3 Lectura de los datos con viga Benkelman y cálculo de deflexiones

Los datos recogidos de campo se muestran en el anexo No 1. A continuación presentamos las deflexiones máximas calculadas para las 51 secciones.

Cuadro N° 5.02 Cuadro de deflexiones en el carril izquierdo

Nº	Progresiva (km)	Carril	F.C.	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS			
				Deflexiones Corregidas (mm)			
				0	25	50	75
1	74+000	Izquierdo	0.977	0.16	0.12	0.08	0.04
2	74+200	Izquierdo	0.976	0.47	0.39	0.27	0.16
3	74+400	Izquierdo	0.975	0.31	0.27	0.19	0.16
4	74+600	Izquierdo	0.974	0.16	0.12	0.08	0.04
5	74+800	Izquierdo	0.980	0.55	0.39	0.24	0.12
6	75+000	Izquierdo	0.979	0.35	0.31	0.20	0.08
7	75+200	Izquierdo	0.979	0.23	0.20	0.12	0.04
8	75+400	Izquierdo	0.972	0.23	0.16	0.12	0.08
9	75+600	Izquierdo	0.976	0.23	0.20	0.16	0.12
10	75+800	Izquierdo	0.972	0.31	0.27	0.16	0.12
11	76+000	Izquierdo	0.970	0.31	0.23	0.16	0.12
12	76+200	Izquierdo	0.966	0.19	0.15	0.12	0.08
13	76+400	Izquierdo	0.965	0.19	0.15	0.08	0.04
14	76+600	Izquierdo	0.959	0.38	0.27	0.12	0.08
15	76+800	Izquierdo	0.961	0.27	0.19	0.12	0.04
16	77+000	Izquierdo	0.955	0.34	0.23	0.15	0.08
17	77+200	Izquierdo	0.957	0.19	0.15	0.08	0.04
18	77+400	Izquierdo	0.947	0.19	0.15	0.11	0.08
19	77+600	Izquierdo	0.957	0.27	0.19	0.11	0.04
20	77+800	Izquierdo	0.948	0.38	0.34	0.23	0.15
21	78+000	Izquierdo	0.945	0.45	0.38	0.19	0.11
22	78+200	Izquierdo	0.974	0.66	0.47	0.35	0.19
23	78+400	Izquierdo	0.953	0.50	0.30	0.15	0.08
24	78+600	Izquierdo	0.951	0.38	0.30	0.23	0.19
25	78+800	Izquierdo	0.947	0.53	0.49	0.42	0.34
26	79+000	Izquierdo	0.947	0.49	0.38	0.23	0.15
27	79+200	Izquierdo	0.954	0.53	0.42	0.27	0.19
28	79+400	Izquierdo	0.948	0.27	0.23	0.19	0.15
29	79+600	Izquierdo	0.947	0.45	0.38	0.30	0.19
30	79+800	Izquierdo	0.948	0.53	0.42	0.30	0.19
31	80+000	Izquierdo	0.954	0.95	0.84	0.61	0.42
32	80+200	Izquierdo	0.955	0.92	0.84	0.69	0.57
33	80+400	Izquierdo	0.956	0.46	0.38	0.27	0.15
34	80+600	Izquierdo	0.944	0.87	0.79	0.64	0.53
35	80+800	Izquierdo	0.958	0.46	0.38	0.27	0.19
36	81+000	Izquierdo	0.951	0.91	0.72	0.57	0.46
37	81+200	Izquierdo	0.947	0.57	0.53	0.42	0.34
38	81+400	Izquierdo	0.947	0.80	0.72	0.64	0.53
39	81+600	Izquierdo	0.947	0.42	0.34	0.23	0.15
40	81+800	Izquierdo	0.947	0.34	0.27	0.19	0.15
41	82+000	Izquierdo	0.947	0.91	0.83	0.68	0.53
42	82+200	Izquierdo	0.952	1.07	0.99	0.72	0.61
43	82+400	Izquierdo	0.959	0.88	0.84	0.73	0.69
44	82+600	Izquierdo	0.959	0.96	0.92	0.77	0.61
45	82+800	Izquierdo	0.959	0.73	0.69	0.50	0.42
46	83+000	Izquierdo	0.958	0.77	0.73	0.65	0.54
47	83+200	Izquierdo	0.960	0.54	0.38	0.27	0.19
48	83+400	Izquierdo	0.967	1.20	1.16	1.01	0.89
49	83+600	Izquierdo	0.961	0.96	0.88	0.69	0.54
50	83+800	Izquierdo	0.960	0.35	0.27	0.15	0.08
51	84+000	Izquierdo	0.974	0.97	0.90	0.82	0.74

Cuadro N° 5.03 Cuadro de deflexiones en el carril derecho

Nº	Progresiva (km)	Carril	F.C.	RESULTADOS DEFLECTOMÉTRICOS			
				Deflexiones Corregidas (mm)			
				0	25	50	75
1	74+000	Derecha	0.977	0.20	0.12	0.08	0.04
2	74+200	Derecha	0.976	0.47	0.31	0.23	0.16
3	74+400	Derecha	0.975	0.19	0.12	0.08	0.04
4	74+600	Derecha	0.974	0.31	0.16	0.08	0.04
5	74+800	Derecha	0.980	0.35	0.24	0.12	0.04
6	75+000	Derecha	0.979	0.35	0.24	0.12	0.04
7	75+200	Derecha	0.979	0.16	0.12	0.08	0.04
8	75+400	Derecha	0.972	0.31	0.23	0.12	0.08
9	75+600	Derecha	0.976	0.23	0.16	0.12	0.08
10	75+800	Derecha	0.972	0.43	0.35	0.16	0.08
11	76+000	Derecha	0.970	0.43	0.31	0.23	0.12
12	76+200	Derecha	0.966	0.19	0.15	0.04	0.00
13	76+400	Derecha	0.965	0.31	0.23	0.15	0.08
14	76+600	Derecha	0.959	0.35	0.27	0.15	0.12
15	76+800	Derecha	0.961	0.38	0.27	0.15	0.08
16	77+000	Derecha	0.955	0.27	0.23	0.11	0.08
17	77+200	Derecha	0.957	0.34	0.31	0.23	0.19
18	77+400	Derecha	0.947	0.42	0.38	0.30	0.27
19	77+600	Derecha	0.957	0.23	0.19	0.15	0.11
20	77+800	Derecha	0.948	0.45	0.38	0.30	0.23
21	78+000	Derecha	0.945	0.42	0.34	0.30	0.19
22	78+200	Derecha	0.974	0.58	0.43	0.27	0.16
23	78+400	Derecha	0.953	0.61	0.46	0.30	0.15
24	78+600	Derecha	0.951	0.38	0.34	0.23	0.15
25	78+800	Derecha	0.947	0.76	0.68	0.53	0.34
26	79+000	Derecha	0.947	0.23	0.19	0.15	0.08
27	79+200	Derecha	0.954	0.42	0.27	0.19	0.15
28	79+400	Derecha	0.948	0.38	0.30	0.23	0.11
29	79+600	Derecha	0.947	0.30	0.27	0.19	0.11
30	79+800	Derecha	0.948	0.38	0.34	0.27	0.19
31	80+000	Derecha	0.954	0.84	0.65	0.42	0.31
32	80+200	Derecha	0.955	0.92	0.84	0.69	0.57
33	80+400	Derecha	0.956	1.19	0.92	0.65	0.42
34	80+600	Derecha	0.944	1.13	1.06	0.91	0.79
35	80+800	Derecha	0.958	1.03	0.92	0.77	0.65
36	81+000	Derecha	0.951	0.95	0.91	0.84	0.68
37	81+200	Derecha	0.947	0.57	0.49	0.42	0.38
38	81+400	Derecha	0.947	0.87	0.80	0.72	0.53
39	81+600	Derecha	0.947	0.83	0.76	0.64	0.49
40	81+800	Derecha	0.947	0.72	0.61	0.53	0.45
41	82+000	Derecha	0.947	0.99	0.80	0.64	0.42
42	82+200	Derecha	0.952	0.95	0.80	0.57	0.53
43	82+400	Derecha	0.959	0.77	0.69	0.54	0.50
44	82+600	Derecha	0.959	0.54	0.46	0.31	0.23
45	82+800	Derecha	0.959	0.42	0.23	0.15	0.04
46	83+000	Derecha	0.958	0.38	0.23	0.11	0.04
47	83+200	Derecha	0.960	0.77	0.73	0.58	0.42
48	83+400	Derecha	0.967	1.12	1.01	0.93	0.85
49	83+600	Derecha	0.961	0.50	0.42	0.23	0.19
50	83+800	Derecha	0.960	0.77	0.69	0.61	0.54
51	84+000	Derecha	0.974	0.39	0.27	0.16	0.08

5.1.4 Partición o sectorización inicial del tramo en estudio

Tal como se señala en la sección 5.1.1, el tramo en estudio ha sido dividido longitudinalmente en 10 partes y transversalmente en 2. La figura 5.05 muestra la partición efectuada. Se tienen entonces 20 sectores para realizar el análisis estadístico. La longitud de cada sector es de 1km. En las figuras. 5.06(a) y 5.06(b) se muestran los deflectogramas izquierdo y derecho. En ellos se observan dos sectores aparentemente uniformes. Podría suponerse inútil tener tanto sectores particionados, sin embargo, considerar dividir el tramo en estudio en 20 partes puede significar ahorro en el costo de mantenimiento y/o reparación de la vía.

Figura N° 5.05 Sectorización inicial del tramo en estudio.

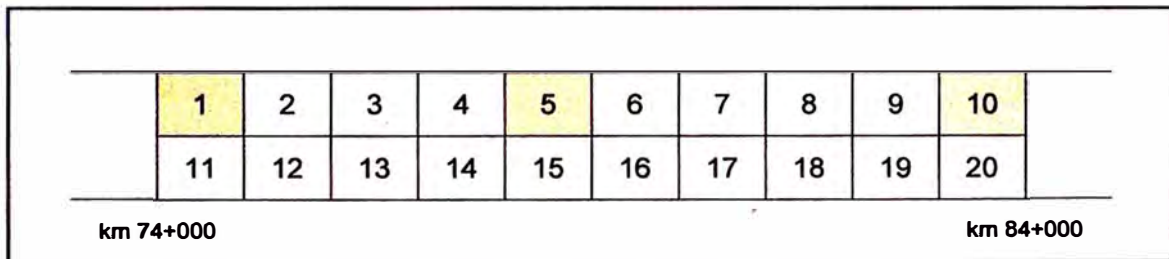
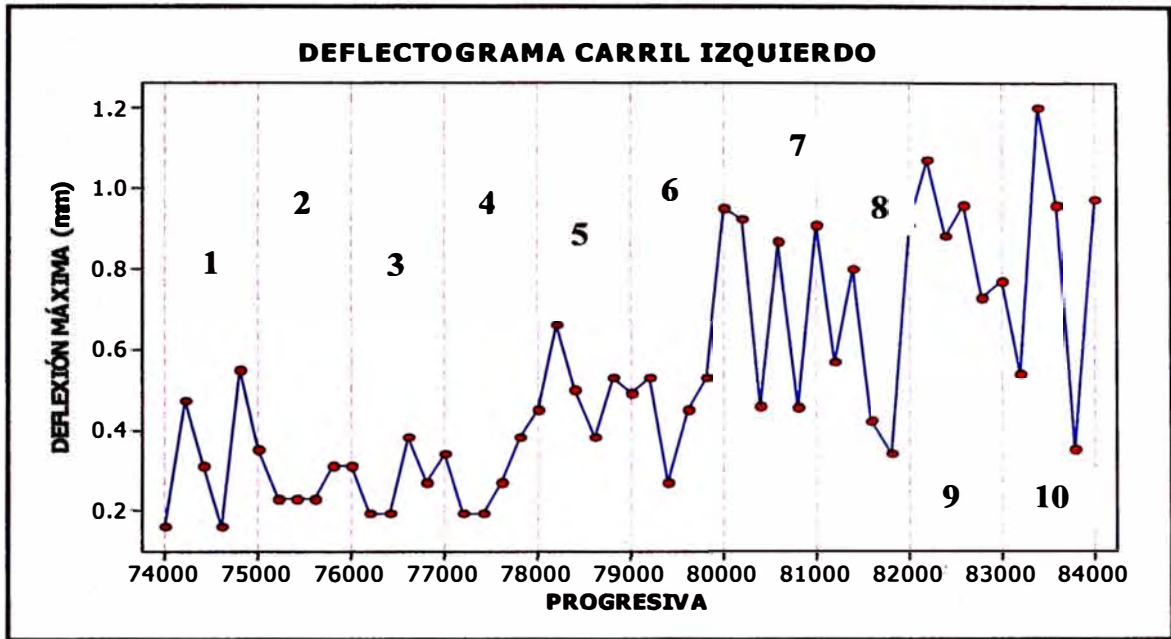
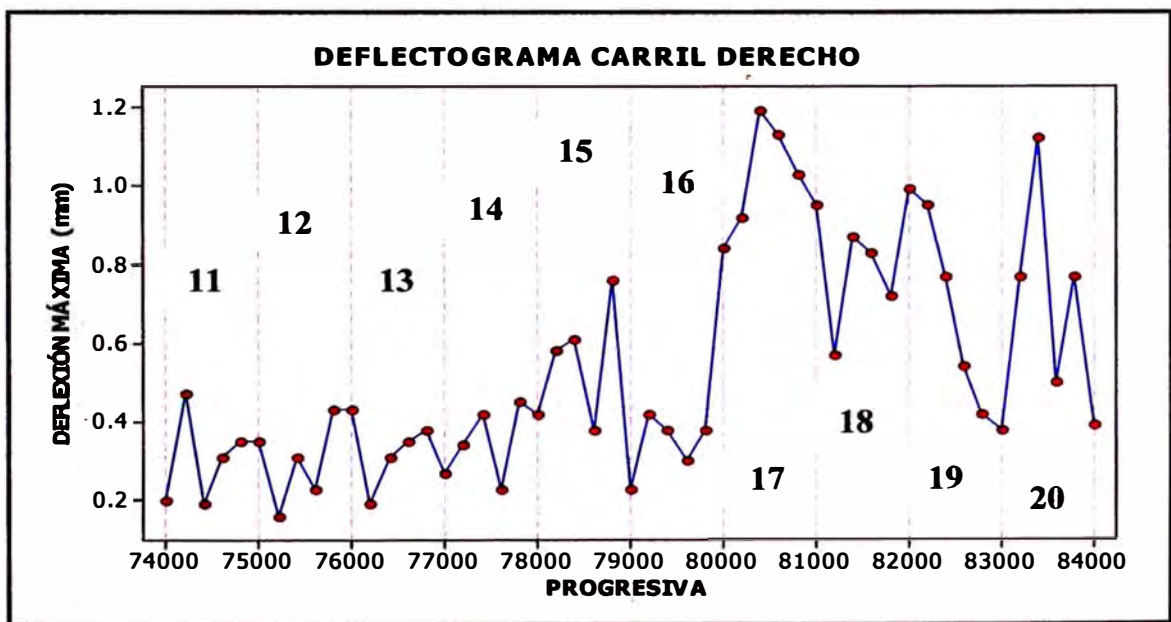


Figura N° 5.06. Deflectogramas del carril izquierdo y derecho



(a) Deflectograma del carril izquierdo

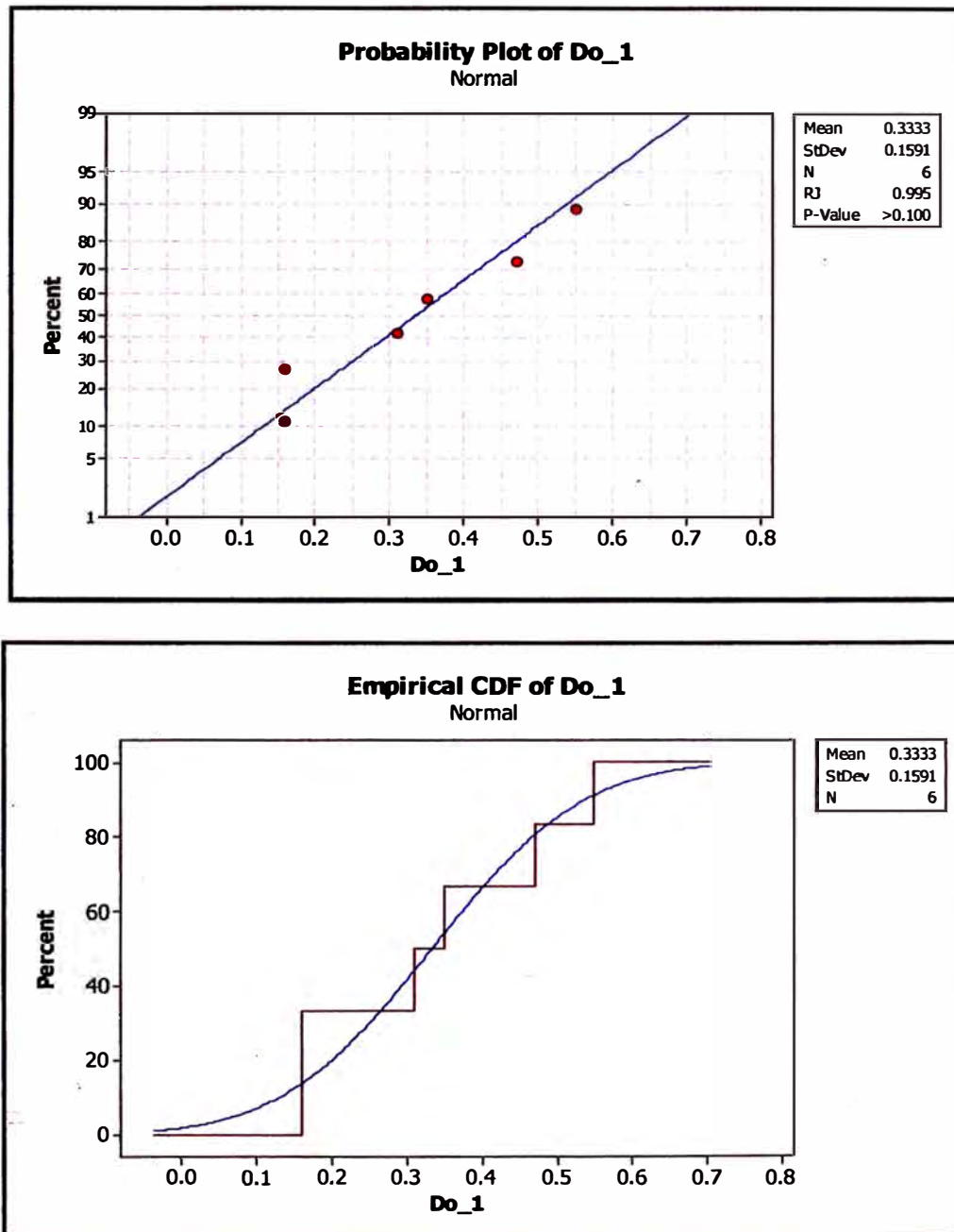


(b) Deflectograma del carril derecho

5.1.5 Prueba de Normalidad

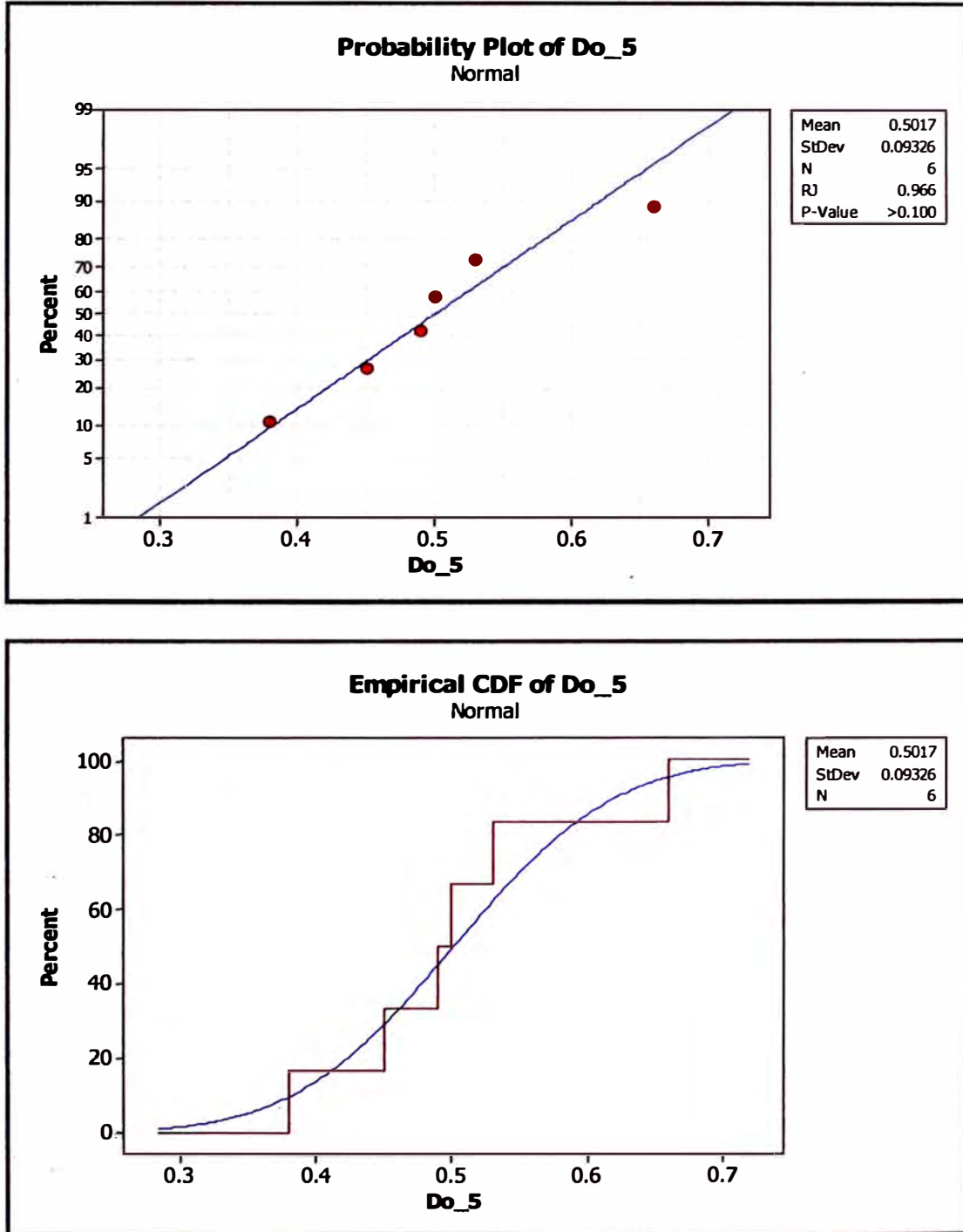
Un método simple para determinar la normalidad de una muestra es la prueba de Shapiro – Wilk. Para los cálculos en el presente trabajo, se tomarán los sectores 1, 5 y 10, el resto de las pruebas se pueden ver en el anexo No 3. En las figuras 5.07, 5.08 y 5.09 se muestran la normalidad en los sectores 1, 5, y 10.

Figura N° 5.07 Prueba de Normalidad sector 1



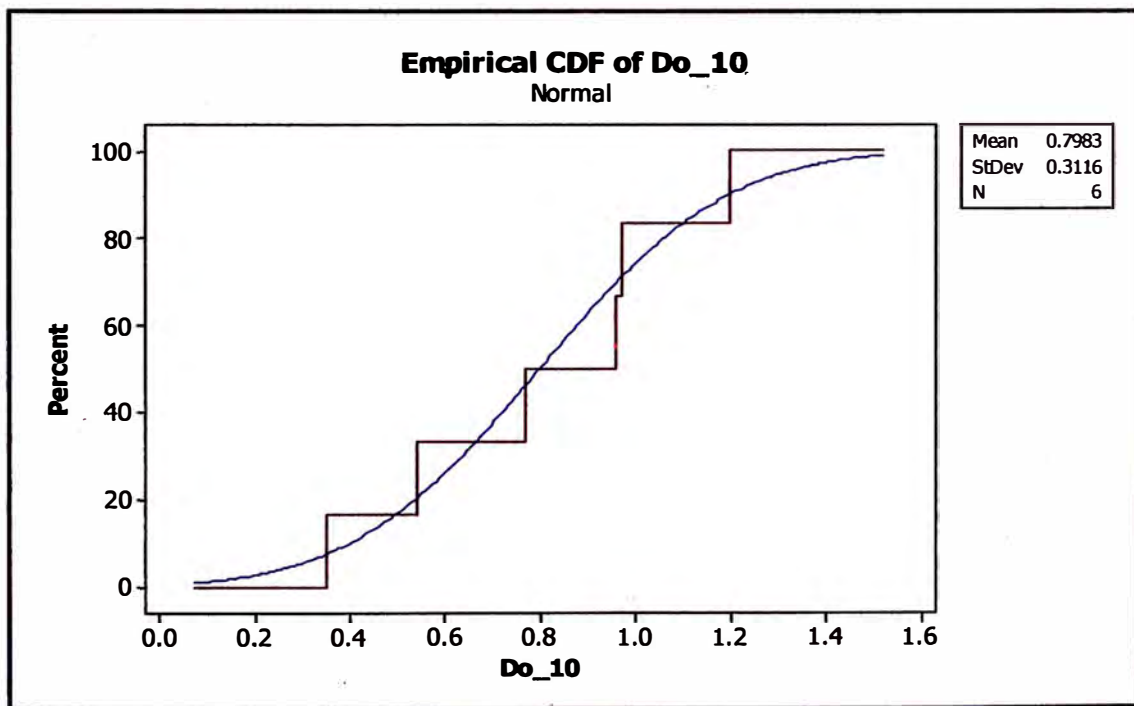
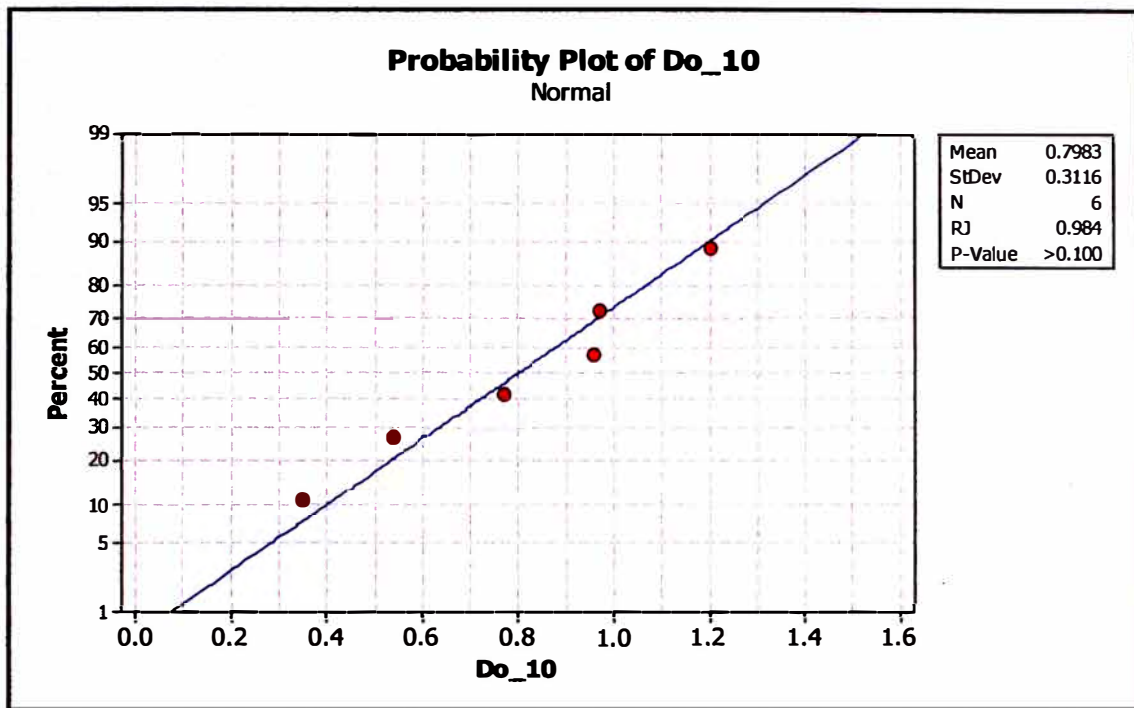
En el sector 1, el P-valor es mayor que 0.1 por lo que puede decirse que los datos obedecen a una distribución Normal.

Figura N° 5.08 Prueba de Normalidad sector 5



En el sector 5, el P-valor es mayor que 0.1 por lo que puede decirse que los datos obedecen a una distribución Normal.

Figura N° 5.09 Prueba de Normalidad sector 10



En el sector 10, el P-valor es mayor que 0.1 por lo que puede decirse que los datos obedecen a una distribución Normal.

5.1.6 Aplicación del método Bootstrap. Cálculo de la Deflexión media, desviación estándar y deflexión característica.

Mediante el método Bootstrap posible ajustar estos datos de una muestra no Normal y Normal. Para ello, agregaremos y ejecutaremos desde el Minitab la macro Bootstrap para los sectores 1, 5 y 10. En el anexo No 4 se tienen las desviaciones estándar calculadas con la macro Bootstrap para el resto de sectores

En la figura 5.10 puede verse las diferencias entre los valores de deflexión media y de desviación estándar calculados sin la aplicación de la macro y con la aplicación del Boostrap.

Figura N° 5.10 Aplicación de macro Bootstrap en el sector 1

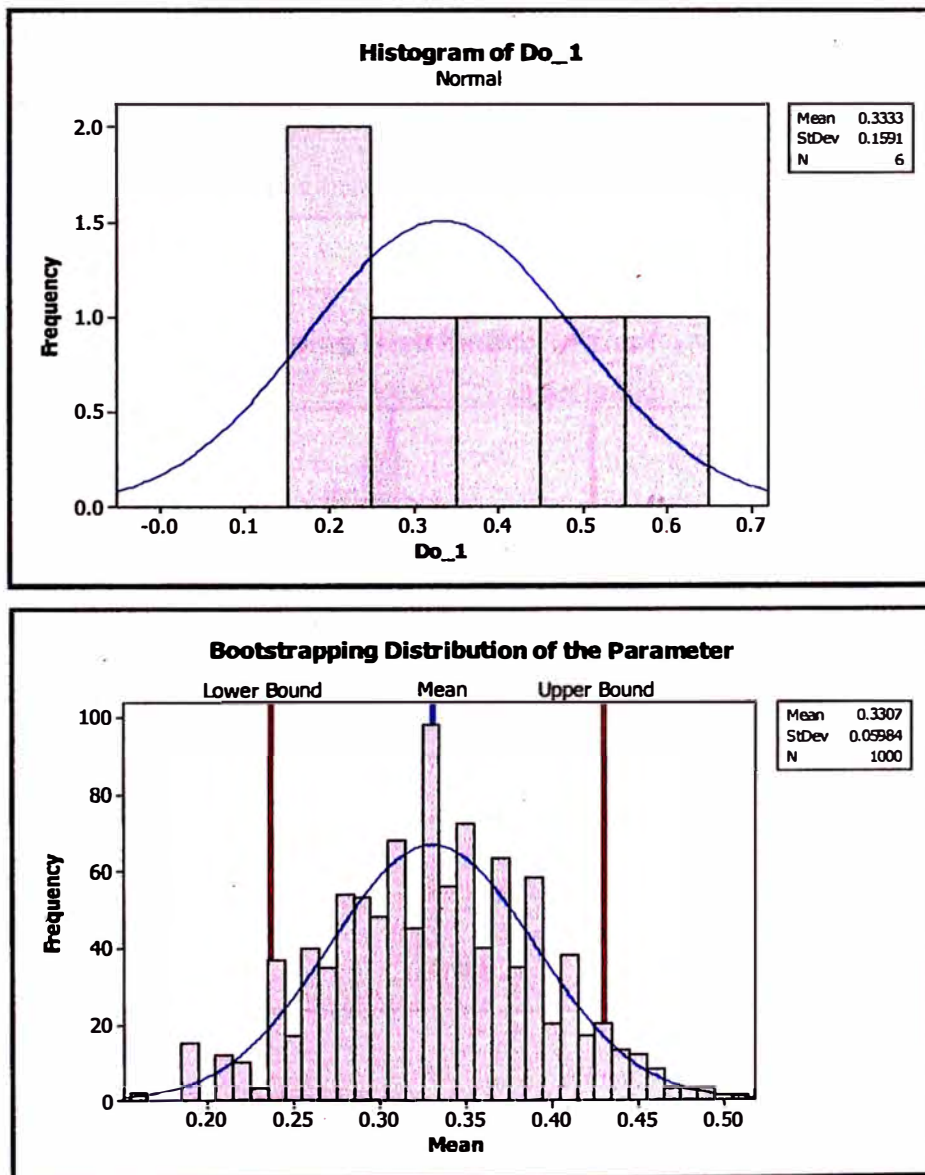


Figura N° 5.11 Aplicación de macro Bootstrap en el sector 5

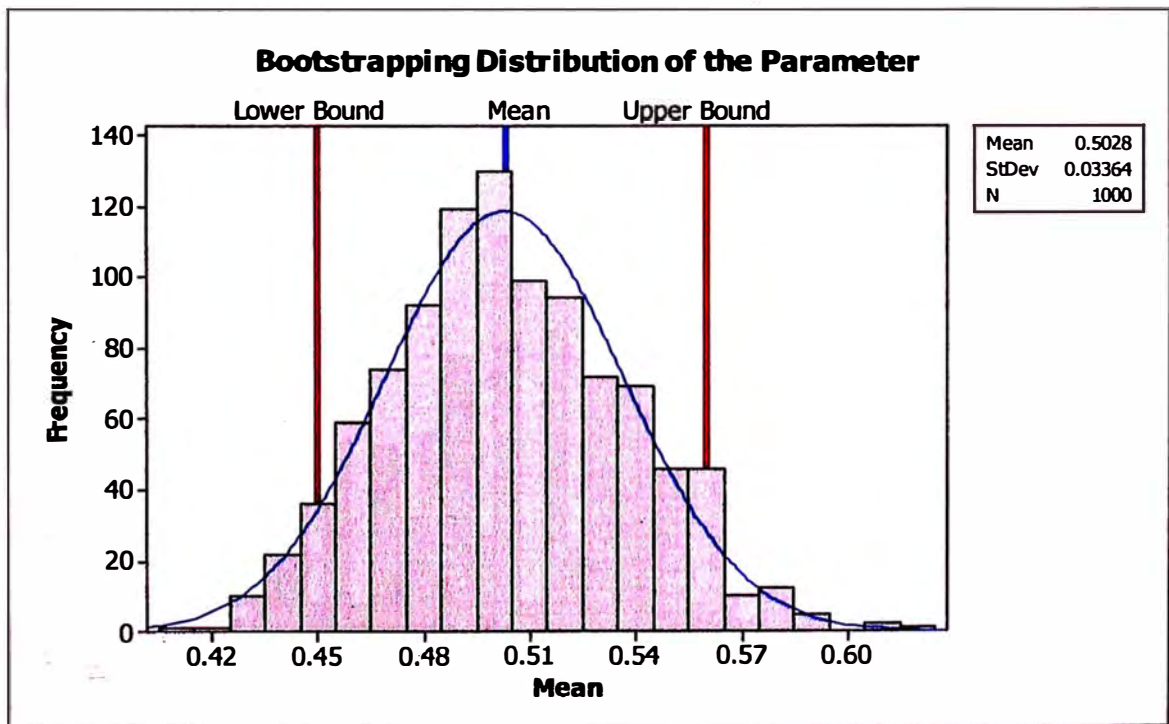
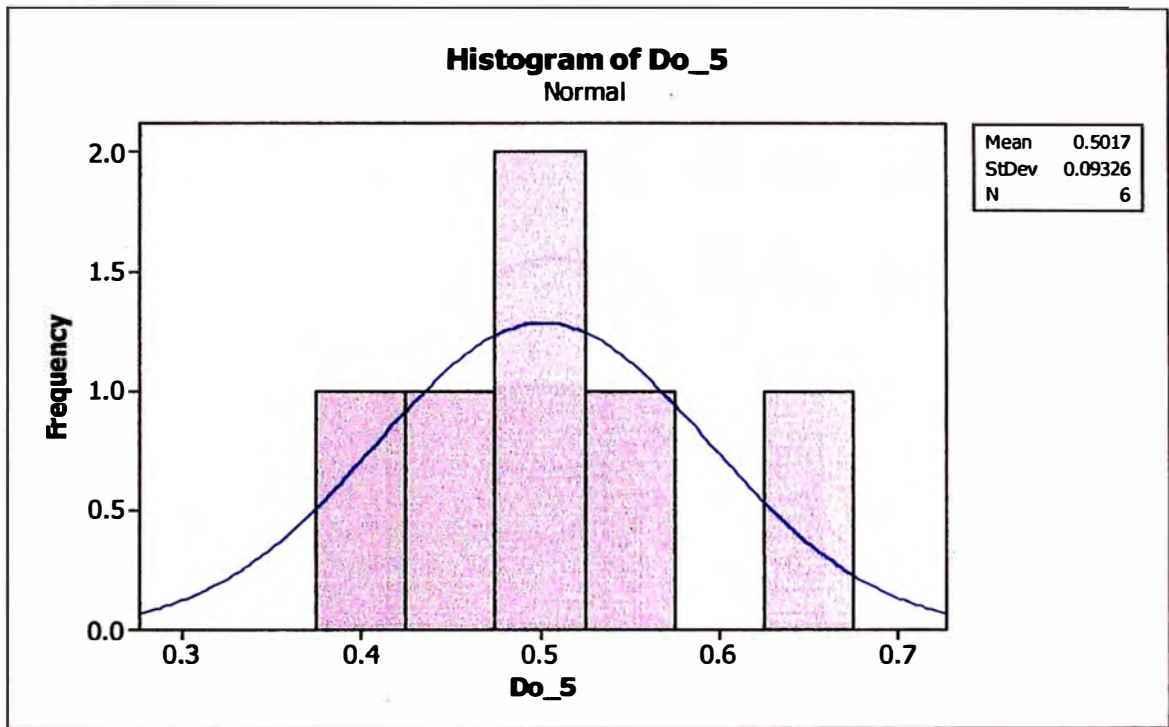
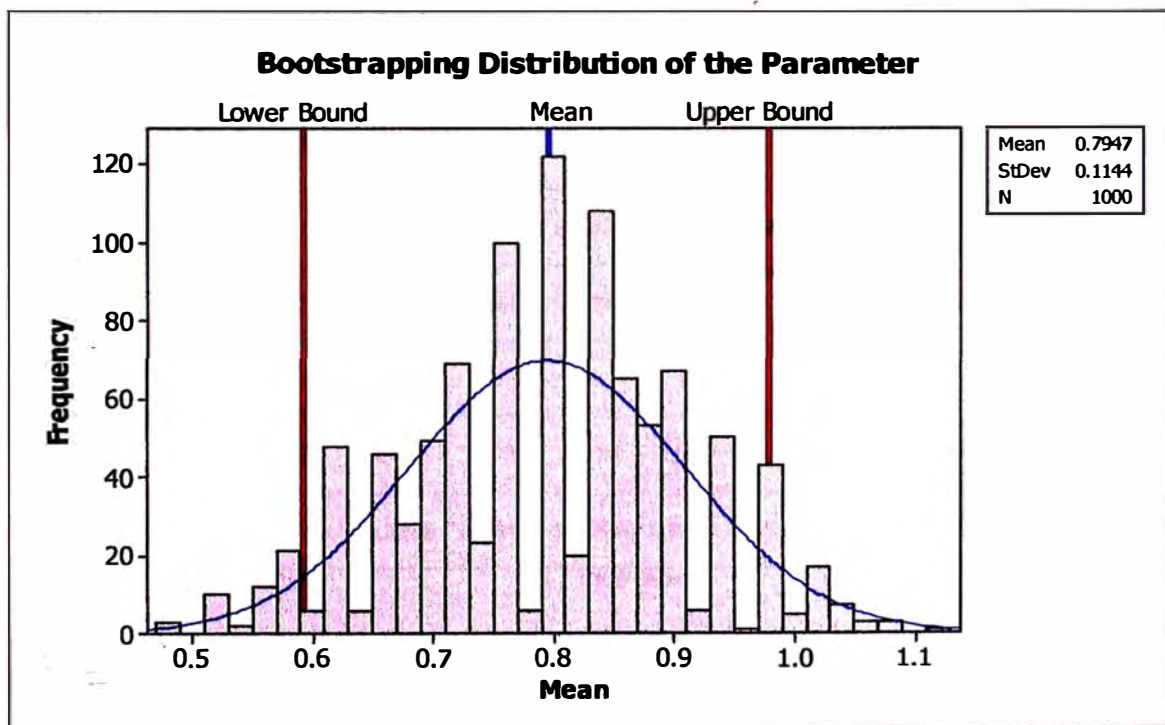
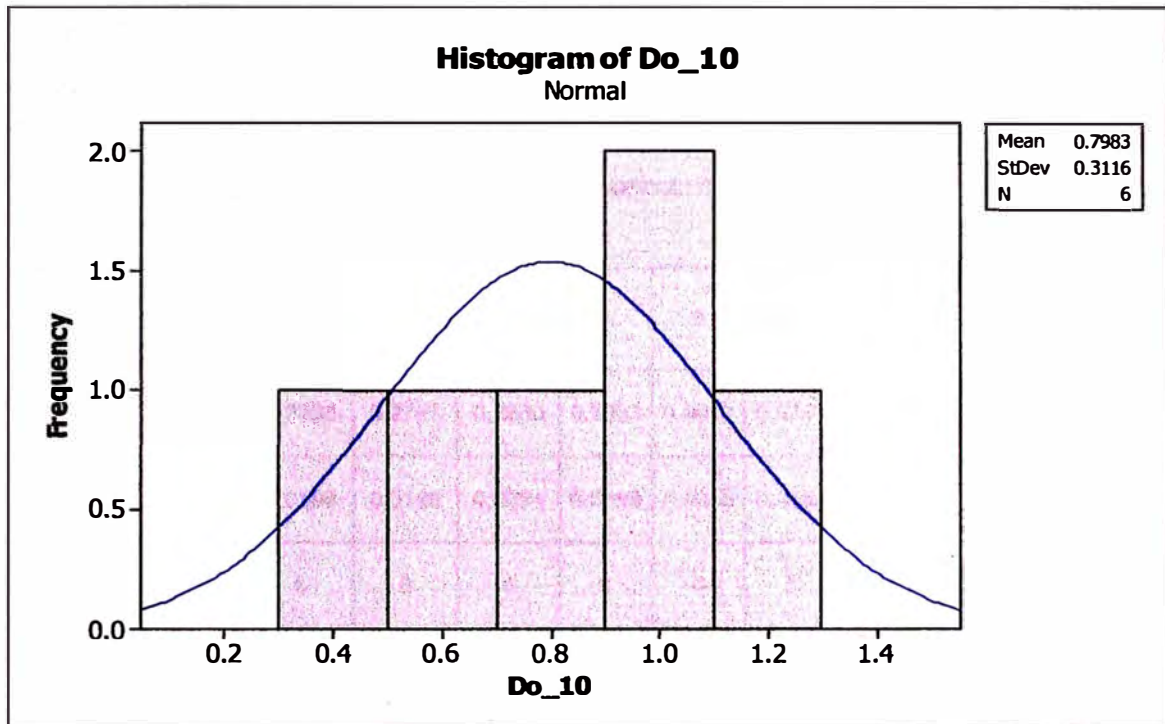


Figura N° 5.12 Aplicación de macro Bootstrap en el sector 10



El cuadro que se presenta a continuación contiene los estadísticos encontrados por el bootstrap en los 20 sectores del tramo en estudio. Asimismo, aplicando la expresión (1), se calculan las deflexiones características correspondientes a cada sector con un intervalo de confianza del 95%.

Cuadro N° 5.04 Resultados del Bootstrap y cálculo de las deflexiones características

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Deflexión Máxima Media	0,3333	0,2767	0,2800	0,3033	0,5017	0,5367	0,7617	0,6583	0,8867	0,7983
Desviación Estándar (Bootstrap)	0,0598	0,0195	0,0291	0,0388	0,0336	0,0882	0,0874	0,0946	0,0439	0,1144
n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
t (al 95% de confianza)	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015
Deflexión característica	0,4539	0,3159	0,3387	0,3815	0,5695	0,7143	0,9379	0,8490	0,9752	1,0288

(a) Camil izquierdo:

Sector	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Deflexión Máxima Media	0,3117	0,3183	0,3217	0,3550	0,4967	0,4250	1,0100	0,8217	0,6750	0,6550
Desviación Estándar (Bootstrap)	0,0399	0,0400	0,0312	0,0325	0,0695	0,0772	0,0500	0,0586	0,1015	0,1084
n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
t (al 95% de confianza)	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015	2,015
Deflexión característica	0,3921	0,3988	0,3846	0,4205	0,6367	0,5805	1,1108	0,9398	0,8795	0,8734

(b) Camil derecho:

5.1.7 Prueba de similitud: método “t” de Student (Conreval) y Mann Whitney.

En esta etapa se aplicarán dos métodos de clasificación: la propuesta por Conreval y la prueba de similitud de Mann Whitney. También puede utilizarse a manera de corroboración la curva de distribución acumulada:

Similitud entre el sector 1 y el sector 2:

Por método de “t” de Student (Conreval):

Sector	1	2
Media	0,3333	0,2767
Desviación Estándar	0,0598	0,0195
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0004
Varianza/N	0,0006	0,0001
Número de grados de libertad	6	
Variable estadística t'	2,20	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,707	2,447
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

Por Mann Whitney:

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0.0600
 95.5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0.1499,0.2399)
 W = 42.5
 Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0.6310
 The test is significant at 0.6248 (adjusted for ties)
Observación: como P-valor= 0.6310 > 0.05, entonces se acepta la similitud.

En cualquiera de los tres métodos, puede comprobarse la similitud de estos sectores. Por consiguiente deben homogeneizarse los sectores 1 y 2

Gráficamente puede demostrarse:

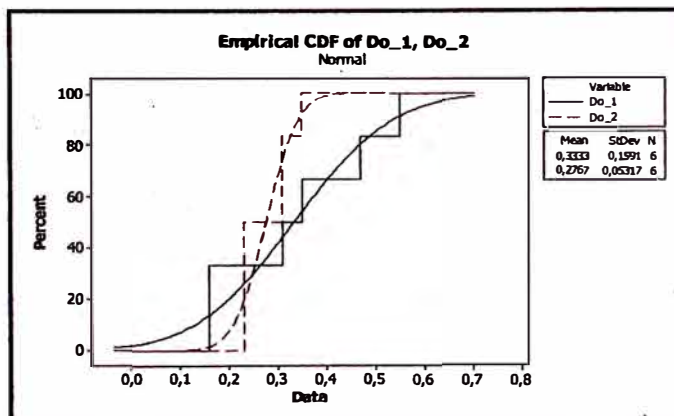


Figura N° 5.13 Verificación de resultados por Conreval y Mann Whitney. Sector 1 y 2

Similitud entre el sector 1 y el sector 5:

Por método de "t" de Student (Conreval):

Sector	1	5
Media	0,3333	0,5017
Desviación Estándar	0,0598	0,0336
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0011
Varianza/N	0,0006	0,0002
Número de grados de libertad	9	
Variable estadística t'	6,01	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,250	2,262
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

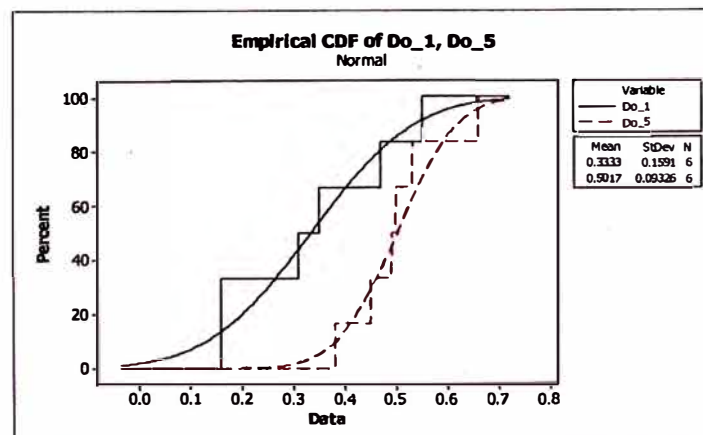
Por Mann Whitney:

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0.1800
 95.5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0.3399,0.0200)
 W = 28.0
 Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0.0927
 The test is significant at 0.0921 (adjusted for ties)
Observación: como P-valor= 0.0927 > 0.05, entonces se acepta la similitud.

En este caso la decisión es a criterio del evaluador, sobre qué criterio utilizar.

Gráficamente:

Figura N° 5.14 Verificación y/o corroboración de resultados por Conreval y Mann Whitney. Sector 1 y 5



Similitud entre el sector 1 y el sector 10:

Por método de "t" de Student (Conreval):

Sector	1	10
Media	0,3333	0,7983
Desviación Estándar	0,0598	0,1144
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0131
Varianza/N	0,0006	0,0022
Número de grados de libertad	8	
Variable estadística t'	8,82	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,355	2,306
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

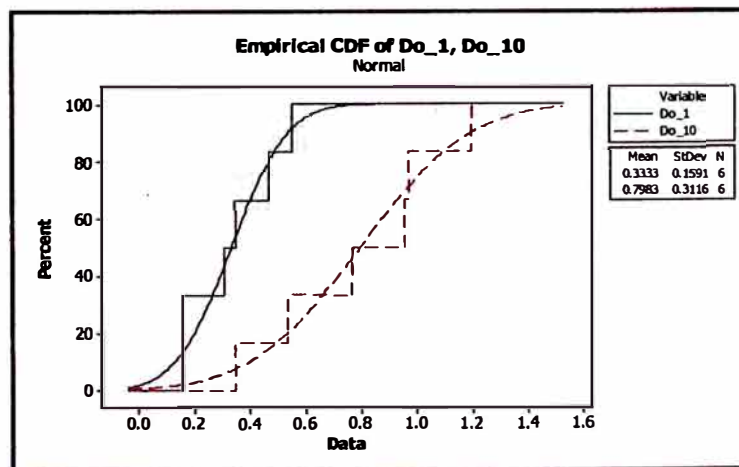
Por Mann Whitney:

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0.4750
 95.5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0.8100,-0.0698)
 W = 24.5
 Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0.0250
 The test is significant at 0.0245 (adjusted for ties)
Observación: como P-valor= 0.0250 < 0.05, entonces NO se acepta la similitud.

En este caso no se acepta la similitud

Gráficamente se observan dos curvas que no se cortan:

Figura Nº 5.15 Corroboración de resultados por Conreval y Mann Whitney. Sector 1 y 10



5.1.8 Sectorización Final.

Realizando las pruebas de similitud en los demás casos, se construye el siguiente esquema:

Figura Nº 5.16 Sectorización inicial y final del tramo evaluado

(a) Sectorización inicial del tramo km 74 + 000 - km 84 + 000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

(b) Sectorización final del tramo km 74 + 000 - km 84 + 000. Homogeneización

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

CONCLUSIONES

- Es posible realizar una reagrupación de sectores a través de la discriminación de datos proporcionados por la viga Benkelman.
- Los resultados obtenidos de las pruebas de similitud con el método de la "t" de Student son más rigurosos que los de la prueba de Mann Whitney. Sin embargo puede afirmarse que ambos métodos concuerdan entre sí en la mayoría de los casos.
- Las deflexiones máximas en las carreteras de bajo volumen de tránsito no necesariamente siguen una distribución Normal, por el tipo de construcción empleado, que provoca que estos valores sean más dispersos e incluso mayores que los habituales en carreteras de orden superior.
- Se consideró 06 mediciones de deflexiones por kilómetro, así la última medición de un sector corresponde a la primera del siguiente. Se aplicó esta forma para el cálculo de la deflexión media de cada sector, mas no para un análisis de la media de todo el tramo evaluado.
- El uso del método Bootstrap resuelve el problema de la baja cantidad de datos recogidos por sector, asumiendo una desviación más real, pues permite encontrar un valor más real de la desviación estándar si se recogiera más datos. Y es aplicado a distribuciones Normales como no Normales.
- Los resultados obtenidos de las medias de las deflexiones máximas son similares en el sentido transversal. Es decir:

Deflexión máxima en sector 1 = deflexión máxima en sector 11

- La similitud entre los sectores va a depender en gran medida de cuánto cercanos estén tanto los valores de la media como de la desviación estándar. Así tenemos que a menor diferencia de deflexiones medias, mayor probabilidad de similitud, y a mayor diferencia de deflexiones medias, mayor probabilidad de no similitud. Lo mismo ocurre con la desviación estándar.

RECOMENDACIONES

- Las mediciones deben tomarse cada 100m para permitir una mejor aplicación del método Bootstrap.
- Se recomienda sectorizar la carretera en sentido longitudinal cada 1000 metros, mas no en sentido transversal. Los resultados obtenidos en este último caso son similares que no la hacen necesaria.
- Se recomienda usar dos niveles de "tramificación". El primer nivel resultante de las características propias de la vía como: tratamiento superficial, estructura, tránsito, climas altitudinales, deflexiones promedio. El segundo, con fines de evaluación, será a criterio del evaluador, sin exceder de 1 km tomando como tramo total uno de los sectores establecidos en el primer nivel de tramificación.

BIBLIOGRAFÍA

1. CHOU, Ya-Lun, **Análisis Estadístico**. Segunda Edición. México 1986.
2. GUTIÉRREZ LÁZARES, José Wilfredo, **Modelación geotécnica de pavimentos flexibles con fines de análisis y diseño en el Perú**, Tesis de maestría, UNIFIC. Perú. 2007
3. LEGUA PEREZ, Carlos Rolando, **Evaluación estructural de la carretera Cañete-Yauyos-Chupaca con viga Benkelman. Método matemático. Tramo km 69+000 – 74+000**, Informe de Suficiencia UNIFIC. Perú. 2009.
4. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, Consorcio de Rehabilitación Vial-Conreval, **Estudio de Rehabilitación de carreteras en el País. Volumen C.**
5. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, Provias Nacional, **Servicio de conservación vial de la carretera: Cañete – Lunahuaná – Pacarán - Chupaca y rehabilitación del tramo Zúñiga – dv Yauyos – Ronchas. Términos de Referencia. Septiembre 2007.**
6. SOLANAS, Antonio - SIERRA, Vicenta, **Bootstrap, Fundamentos e introducción a sus aplicaciones**. Barcelona 1992.

ANEXOS:

Anexo 1: Lecturas de campo carril izquierdo y carril derecho.

Anexo 2: Macro Bootstrap. Fuente: www.minitab.com

Anexo 3: Pruebas de Normalidad.

Anexo 4: Cálculo de la deflexión media y la desviación estándar. Aplicación de macro Bootstrap.

Anexo 5: Prueba de Similitud por el método "t" de Student (Conrevial).

Anexo 1: Lecturas de campo carril izquierdo y carril derecho.

Carril izquierdo.

Nº	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)					Espesor (mm)	Ahuell (mm)	Temp (°C)
			Lí	L25	L50	L75	Lmáx			
1	74+000	Izquierdo	0	1	2	3	4	20	0	31.9
2	74+200	Izquierdo	0	2	5	8	12	20	0	32.5
3	74+400	Izquierdo	0	1	3	4	8	20	0	33
4	74+600	Izquierdo	0	1	2	3	4	20	0	33.5
5	74+800	Izquierdo	0	4	8	11	14	20	0	30
6	75+000	Izquierdo	0	1	4	7	9	20	0	30.5
7	75+200	Izquierdo	0	1	3	5	6	20	0	30.9
8	75+400	Izquierdo	0	2	3	4	6	20	0	34.5
9	75+600	Izquierdo	0	1	2	3	6	20	0	32.5
10	75+800	Izquierdo	0	1	4	5	8	20	0	34.5
11	76+000	Izquierdo	0	2	4	5	8	20	0	35.2
12	76+200	Izquierdo	0	1	2	3	5	20	0	37.8
13	76+400	Izquierdo	0	1	3	4	5	20	0	38.2
14	76+600	Izquierdo	0	3	7	8	10	20	0	41.3
15	76+800	Izquierdo	0	2	4	6	7	20	0	40.3
16	77+000	Izquierdo	0	3	5	7	9	20	0	43.5
17	77+200	Izquierdo	0	1	3	4	5	20	0	42.2
18	77+400	Izquierdo	0	1	2	3	5	20	0	47.8
19	77+600	Izquierdo	0	2	4	6	7	20	0	42.5
20	77+800	Izquierdo	0	1	4	6	10	20	0	47.7
21	78+000	Izquierdo	0	2	7	9	12	20	0	49
22	78+200	Izquierdo	0	5	8	12	17	20	0	33.5
23	78+400	Izquierdo	0	5	9	11	13	20	0	44.8
24	78+600	Izquierdo	0	2	4	5	10	20	0	45.9
25	78+800	Izquierdo	0	1	3	5	14	20	0	47.9
26	79+000	Izquierdo	0	3	7	9	13	20	0	47.9
27	79+200	Izquierdo	0	3	7	9	14	20	0	44.3
28	79+400	Izquierdo	0	1	2	3	7	20	0	47.7
29	79+600	Izquierdo	0	2	4	7	12	20	0	47.9
30	79+800	Izquierdo	0	3	6	9	14	20	0	47.6
31	80+000	Izquierdo	0	3	9	14	25	20	0	43.9
32	80+200	Izquierdo	0	2	6	9	24	20	0	43.8
33	80+400	Izquierdo	0	2	5	8	12	20	0	43.1
34	80+600	Izquierdo	0	2	6	9	23	20	0	49.5
35	80+800	Izquierdo	0	2	5	7	12	20	0	42
36	81+000	Izquierdo	0	5	9	12	24	20	0	45.6
37	81+200	Izquierdo	0	1	4	6	15	20	0	47.9
38	81+400	Izquierdo	0	2	4	7	21	20	0	47.9
39	81+600	Izquierdo	0	2	5	7	11	20	0	47.9
40	81+800	Izquierdo	0	2	4	5	9	20	0	47.8
41	82+000	Izquierdo	0	2	6	10	24	20	0	47.8
42	82+200	Izquierdo	0	2	9	12	28	20	0	45.3
43	82+400	Izquierdo	0	1	4	5	23	20	0	41.5
44	82+600	Izquierdo	0	1	5	9	25	20	0	41.6
45	82+800	Izquierdo	0	1	6	8	19	20	0	41.5
46	83+000	Izquierdo	0	1	3	6	20	20	0	42.1
47	83+200	Izquierdo	0	4	7	9	14	20	0	40.8
48	83+400	Izquierdo	0	1	5	8	31	20	0	37.2
49	83+600	Izquierdo	0	2	7	11	25	20	0	40.2
50	83+800	Izquierdo	0	2	5	7	9	20	0	40.6
51	84+000	Izquierdo	0	2	4	6	25	20	0	33.4

Carril derecho.

Nº	Progresiva (km)	Carril	Lecturas de Campo (10-2mm)					Espesor (mm)	Ahuell (mm)	Temp (°C)
			Li	L25	L50	L75	Lmáx			
1	74+000	Derecha	0	2	3	4	5	20	0	31.9
2	74+200	Derecha	0	4	6	8	12	20	0	32.5
3	74+400	Derecha	0	2	3	4	5	20	0	33
4	74+600	Derecha	0	4	6	7	8	20	0	33.5
5	74+800	Derecha	0	3	6	8	9	20	0	30
6	75+000	Derecha	0	3	6	8	9	20	0	30.5
7	75+200	Derecha	0	1	2	3	4	20	0	30.9
8	75+400	Derecha	0	2	5	6	8	20	0	34.5
9	75+600	Derecha	0	2	3	4	6	20	0	32.5
10	75+800	Derecha	0	2	7	9	11	20	0	34.5
11	76+000	Derecha	0	3	5	8	11	20	0	35.2
12	76+200	Derecha	0	1	4	5	5	20	0	37.8
13	76+400	Derecha	0	2	4	6	8	20	0	38.2
14	76+600	Derecha	0	2	5	6	9	20	0	41.3
15	76+800	Derecha	0	3	6	8	10	20	0	40.3
16	77+000	Derecha	0	1	4	5	7	20	0	43.5
17	77+200	Derecha	0	1	3	4	9	20	0	42.2
18	77+400	Derecha	0	1	3	4	11	20	0	47.8
19	77+600	Derecha	0	1	2	3	6	20	0	42.5
20	77+800	Derecha	0	2	4	6	12	20	0	47.7
21	78+000	Derecha	0	2	3	6	11	20	0	49
22	78+200	Derecha	0	4	8	11	15	20	0	33.5
23	78+400	Derecha	0	4	8	12	16	20	0	44.8
24	78+600	Derecha	0	1	4	6	10	20	0	45.9
25	78+800	Derecha	0	2	6	11	20	20	0	47.9
26	79+000	Derecha	0	1	2	4	6	20	0	47.9
27	79+200	Derecha	0	4	6	7	11	20	0	44.3
28	79+400	Derecha	0	2	4	7	10	20	0	47.7
29	79+600	Derecha	0	1	3	5	8	20	0	47.9
30	79+800	Derecha	0	1	3	5	10	20	0	47.6
31	80+000	Derecha	0	5	11	14	22	20	0	43.9
32	80+200	Derecha	0	2	6	9	24	20	0	43.8
33	80+400	Derecha	0	7	14	20	31	20	0	43.1
34	80+600	Derecha	0	2	6	9	30	20	0	49.5
35	80+800	Derecha	0	3	7	10	27	20	0	42
36	81+000	Derecha	0	1	3	7	25	20	0	45.6
37	81+200	Derecha	0	2	4	5	15	20	0	47.9
38	81+400	Derecha	0	2	4	9	23	20	0	47.9
39	81+600	Derecha	0	2	5	9	22	20	0	47.9
40	81+800	Derecha	0	3	5	7	19	20	0	47.8
41	82+000	Derecha	0	5	9	15	26	20	0	47.8
42	82+200	Derecha	0	4	10	11	25	20	0	45.3
43	82+400	Derecha	0	2	6	7	20	20	0	41.5
44	82+600	Derecha	0	2	6	8	14	20	0	41.6
45	82+800	Derecha	0	5	7	10	11	20	0	41.5
46	83+000	Derecha	0	4	7	9	10	20	0	42.1
47	83+200	Derecha	0	1	5	9	20	20	0	40.8
48	83+400	Derecha	0	3	5	7	29	20	0	37.2
49	83+600	Derecha	0	2	7	8	13	20	0	40.2
50	83+800	Derecha	0	2	4	6	20	20	0	40.6
51	84+000	Derecha	0	3	6	8	10	20	0	33.4

Anexo 2: Macro Bootstrap. Fuente: www.minitab.com

```

macro
bootstrap x b est alpha;
store n.

#####
#
#           Macro:  bootstrap.MAC
#   Written by:  Daniel Griffith and Eduardo Santiago---December 2006
#
#
#   This macro computes nonparametric confidence intervals on the mean and
#   median of a sample by using bootstrap methods.
#
#   The macro inputs one column (x) and three parameters (b, est, alpha).
#   The one column should contain the data from your sample; the sample
#   should be representative of the underlying distribution. The first
#   parameter 'b' is the number of iterations that will be used to estimate
#   the confidence interval. Typically this number is larger than 1000.
#   The parameter 'est' indicates what kind of estimator is taken into
#   consideration; 'est' takes the value of 1 for the mean and 2 for the
#   median. The third parameter alpha is the significance level.
#
#   For example, if the sample (data) column is in c1, and you want to
#   estimate a confidence interval for the mean (1) based on 1000
#   iterations using 95% confidence intervals then your alpha should be set
#   to 0.05. This will automatically give you a two-sided 95% confidence
#   interval. To run the macro, choose Edit > Command Line Editor and type
#
#   %bootstrap c1 1000 1 0.05
#
#   Click on Submit commands.
#
#####
#
#   Neither Minitab, Inc. nor the author(s) of this MACRO makes any claim
#   of or offers any Warranty whatsoever with regard to the accuracy of
#   this MACRO or its suitability for use. Minitab, Inc. and the author(s)
#   of this MACRO each hereby disclaims any Warranty and/or liability with
#   respect thereto.
#
#####

mcolumn x theta c100 test lb ub tstar tstart lbt ubt blanks lab1 lab2 lab3 cilevel
mconstant b est alpha n i m q estn aa bb
default n=10000
mreset
notitle
brief 1
noecho

let n = count(x)

do i=1:b
    sample n x c100;
    repláce.

    if est=1
        let theta(i)=mean(c100)

    elseif est=2
        let theta(i)=median(c100)

    else
        note
        note
        note          **Error** You have specified a value other than 1 or 2 for the estimate
        note          parameter
        note
        exit

    endif

enddo

sort theta theta;
by theta.

let m=(alpha/2)*b
let m=floor(m,0)
if m = 0
    note
    note
    
```

```

        note                **Error** (Alpha/2)*B is less than 1
        note                Increase B or Increase Alpha
        note
        exit
    else
        let q=b+1-m

        let lb=theta(m)
        let ub=theta(q)

    if est=1
        let tstar = mean(theta)
        let estn = "    Mean"
    else

        let tstar = median(theta)
        let estn = "    Median"
    endif

    text tstar lb ub tstart lbt ubt;
        maxwidth 20.
    tset blanks
        "    "
    end
    concat blanks tstart tstart
    stack (estn "Lower Bound" "Upper Bound") (tstart lbt ubt) (tstart lbt ubt)
    let cilevel = (1 - alpha)*100
    text cilevel cilevel
    tset lab2
        "    The "
    end
    tset lab3
        "% Bootstrap Confidence Interval (Percentile Method)"
    end
    concat lab2 cilevel lab3 lab1

        mtitle "Bootstrap Confidence Interval"
        write lab1
        write tstart lbt ubt

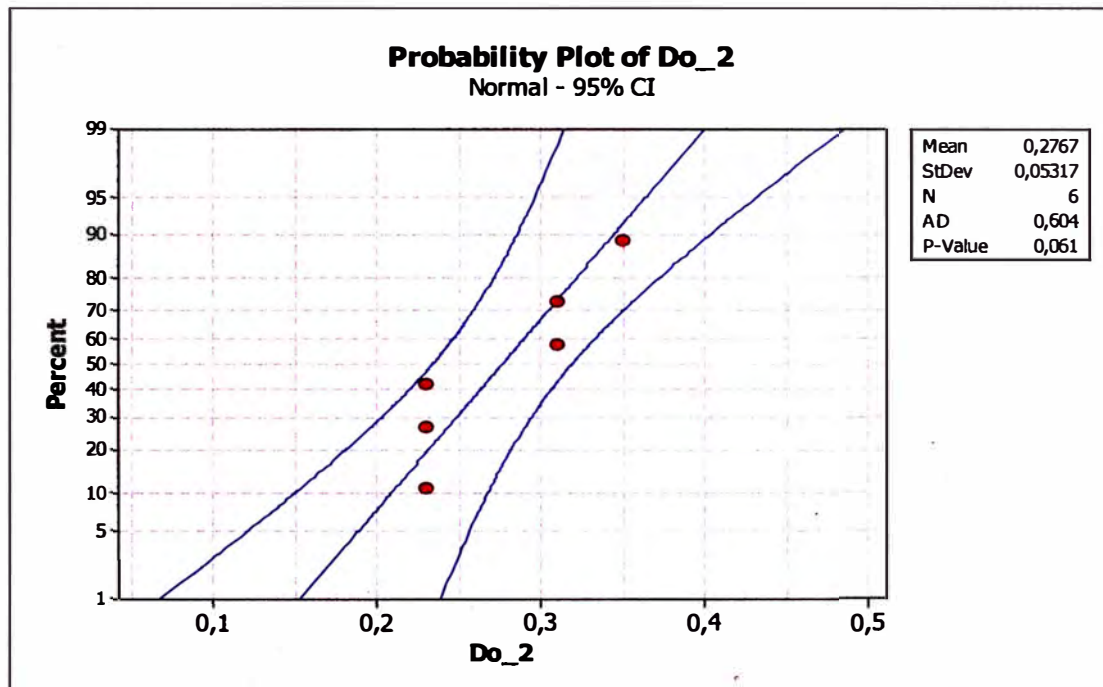
        Histogram theta;
        AxLabel 1 estn;
        ADisplay 1;
        #Table;
        #Section 1;
        NoTable;
        Bar;
        Distribution;
        Normal;
        Reference 1 lb;
        Type 1;
        Color 25;
        Size 2;
        MODEL 1;
        Label "Lower Bound";
        Reference 1 tstar;
        Type 1;
        Color 74;
        Size 2;
        MODEL 1;
        Label estn;
        Reference 1 ub;
        Type 1;
        Color 25;
        Size 2;
        MODEL 1;
        Label "Upper Bound";
        SubTitle;
#
#
        StDist;
        Footnote;
        FPér;
        Title "Bootstrapping Distribution of the Parameter";
        Footnote;
        FPanel;
        NoDTitle;
        NoDSubTitle;
        wtitle "Bootstrap Histogram";
        NoPerFootnote.

endif
endmacro

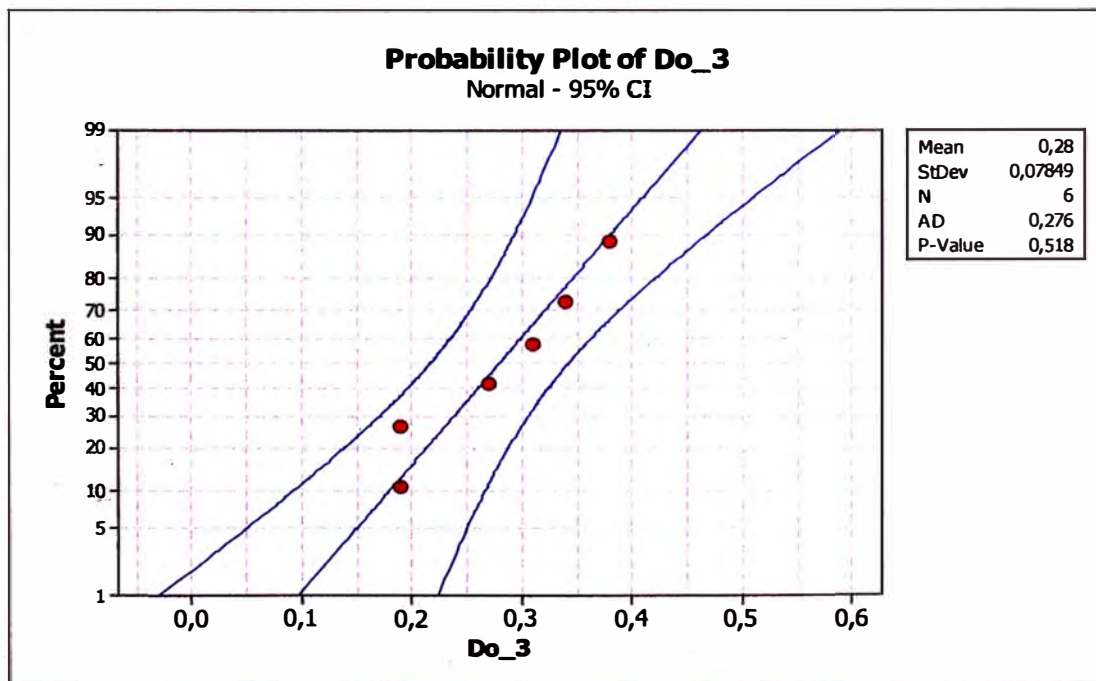
```


Anexo 3: Pruebas de Normalidad.

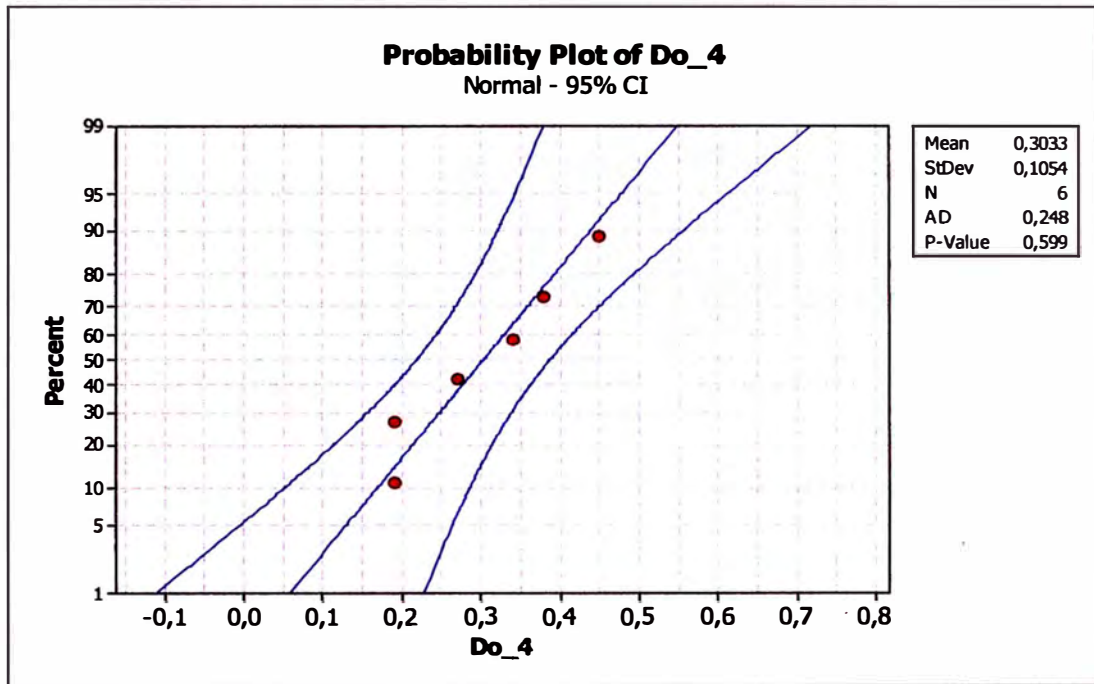
Sector 2.



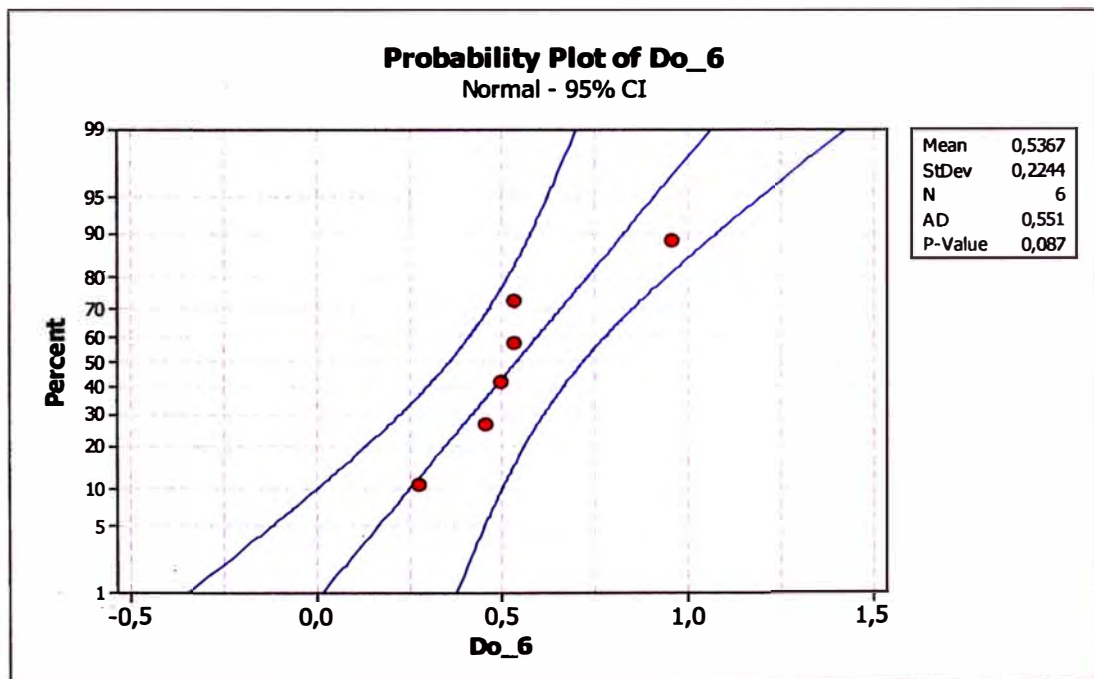
Sector 3.



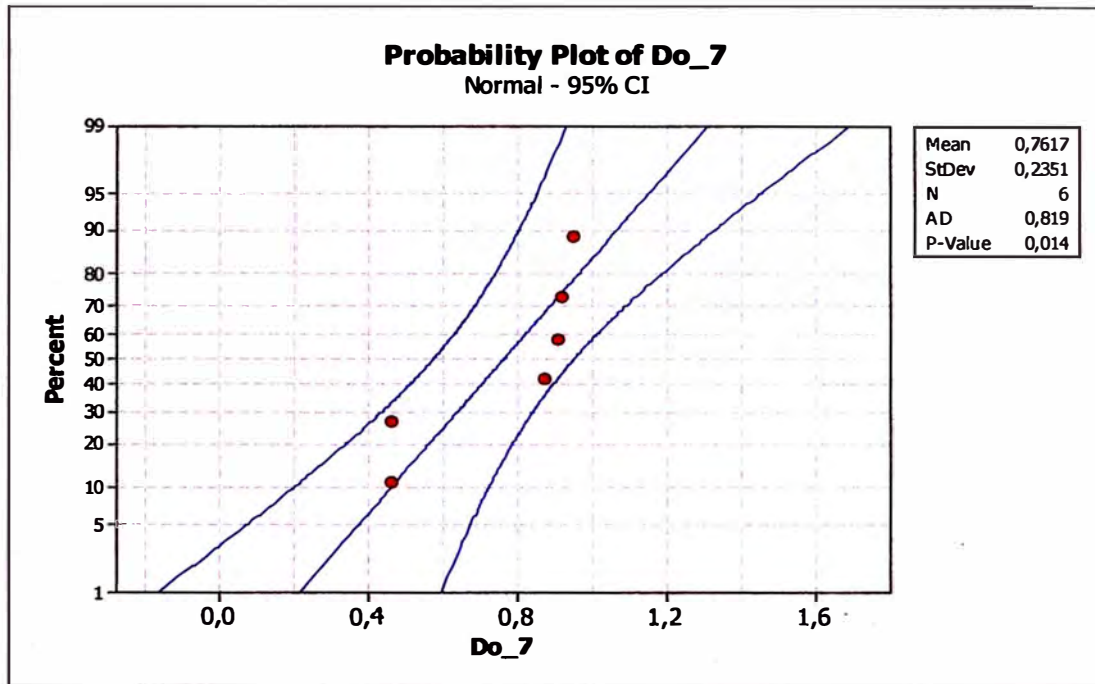
Sector 4.



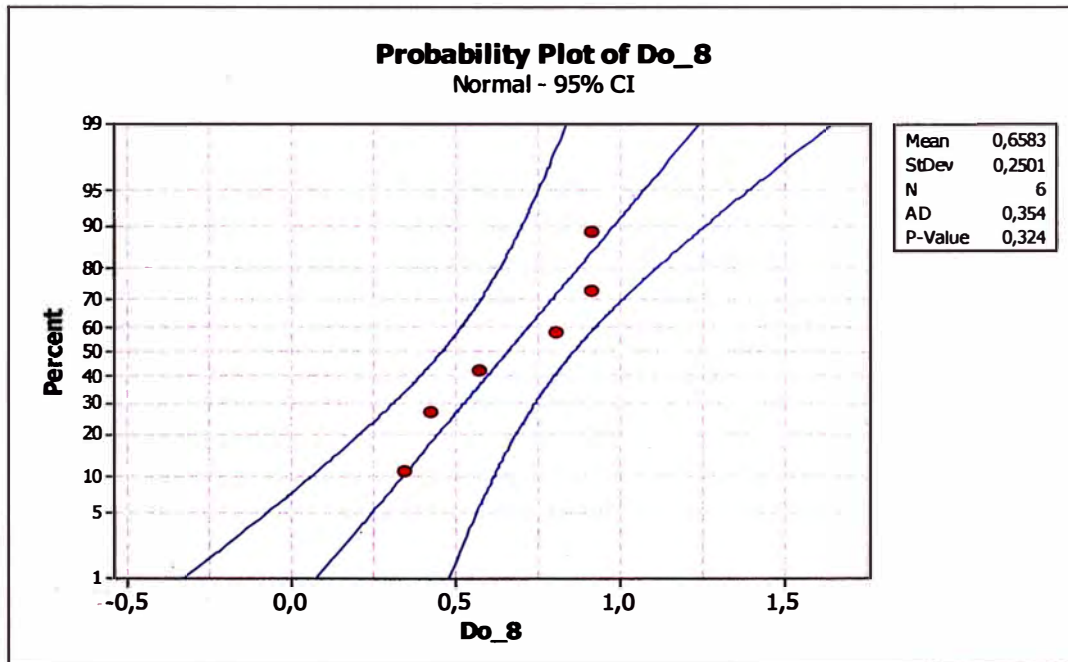
Sector 6.



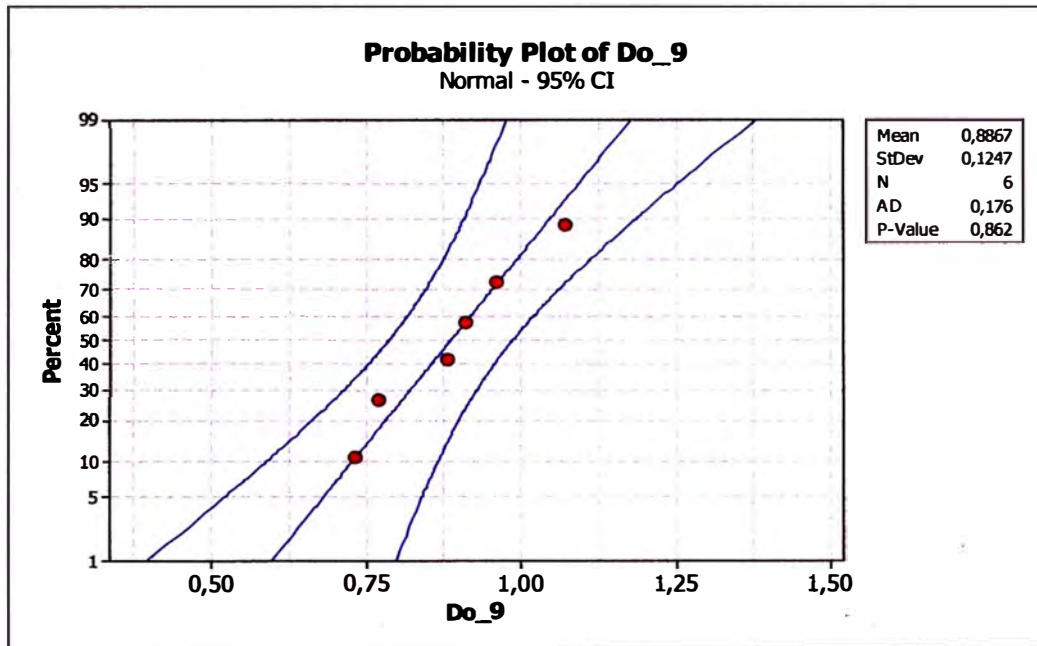
Sector 7.



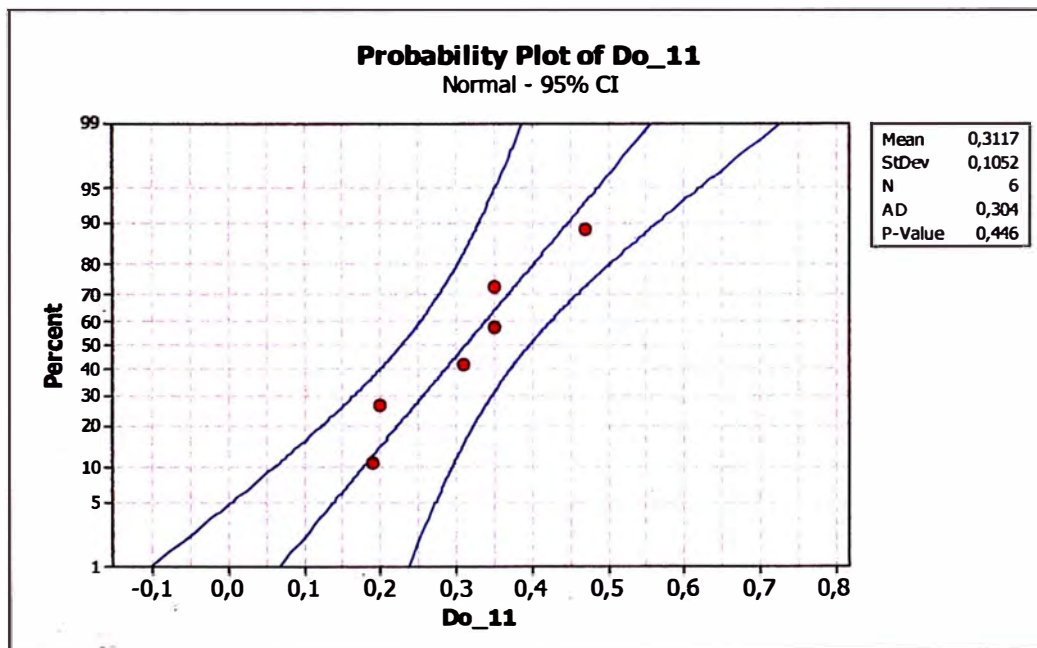
Sector 8.



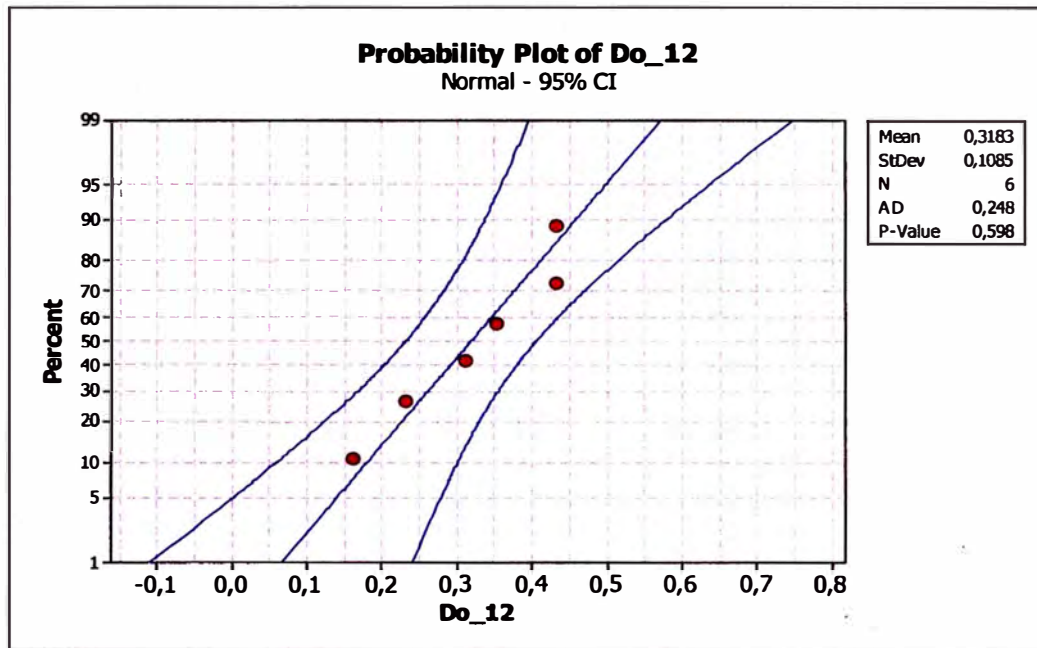
Sector 9.



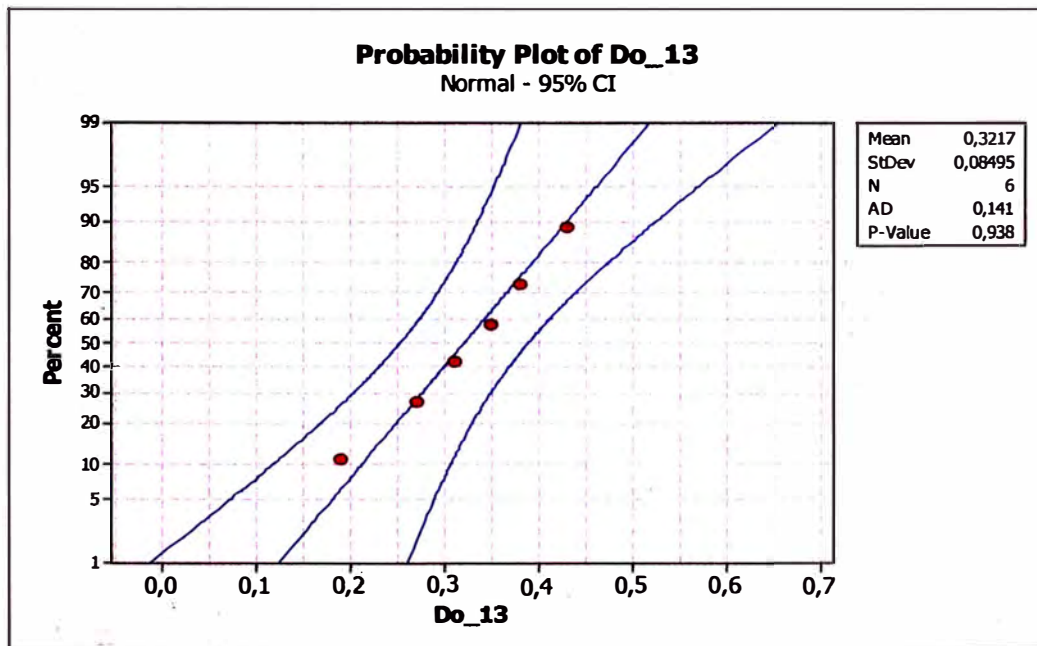
Sector 11.



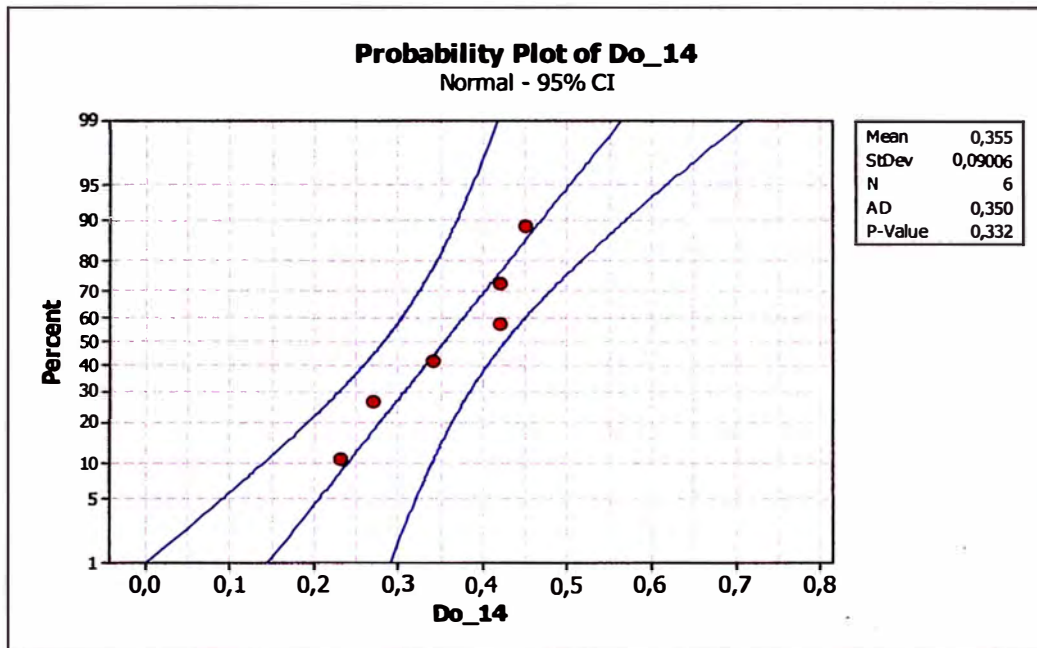
Sector 12.



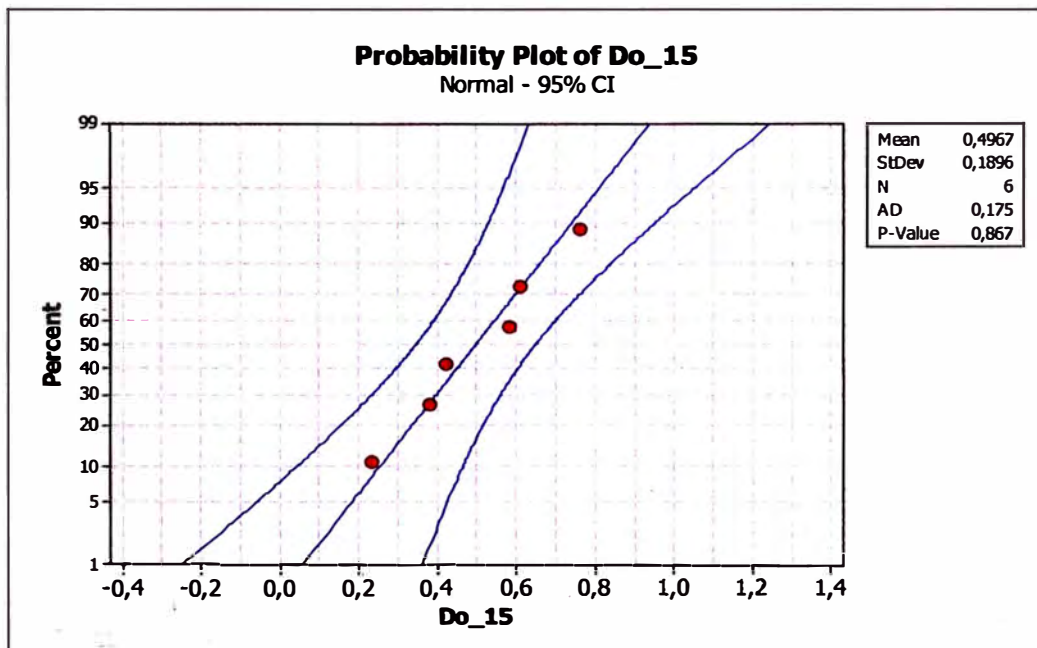
Sector 13.



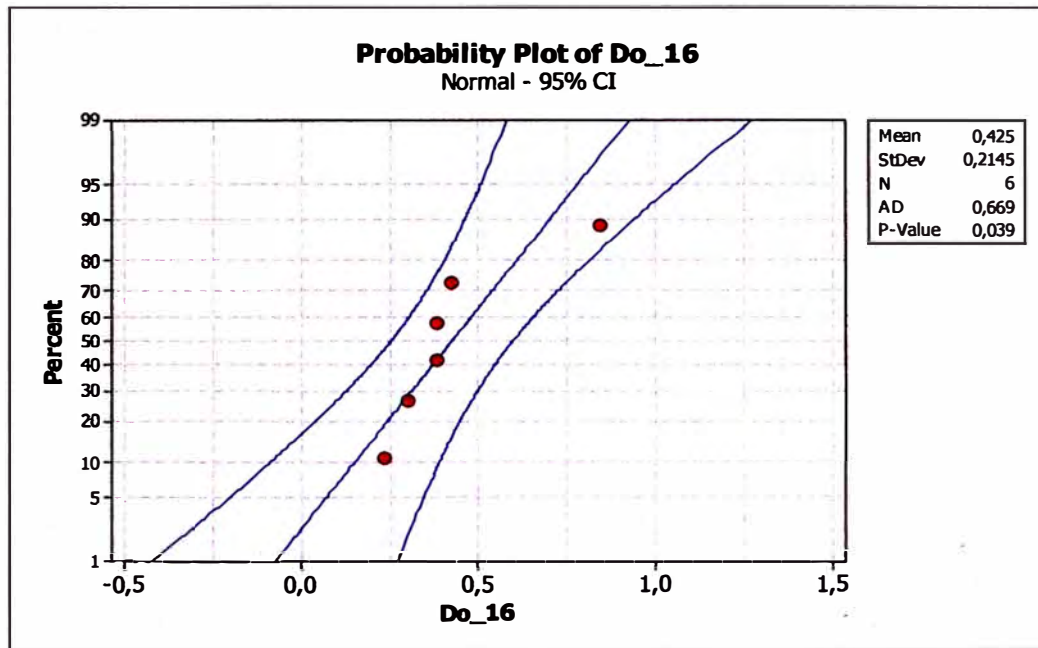
Sector 14.



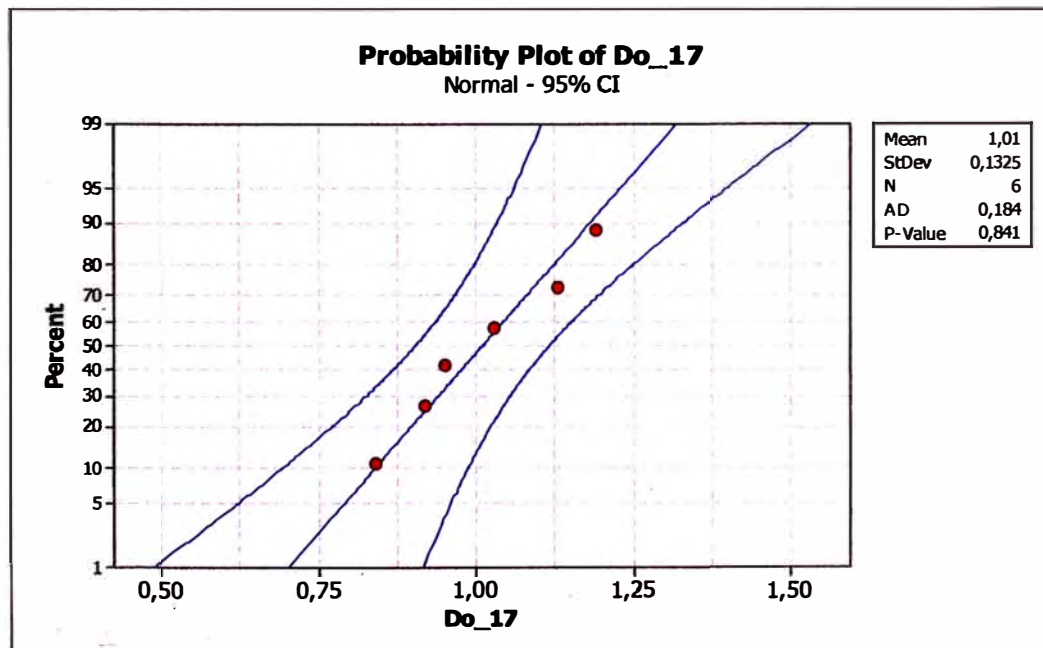
Sector 15.



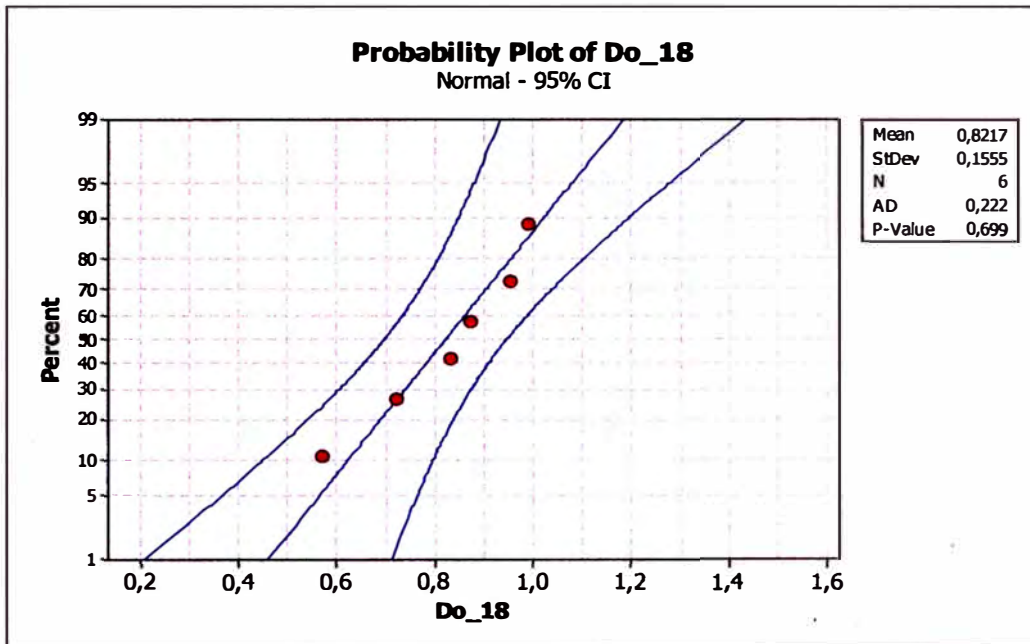
Sector 16.



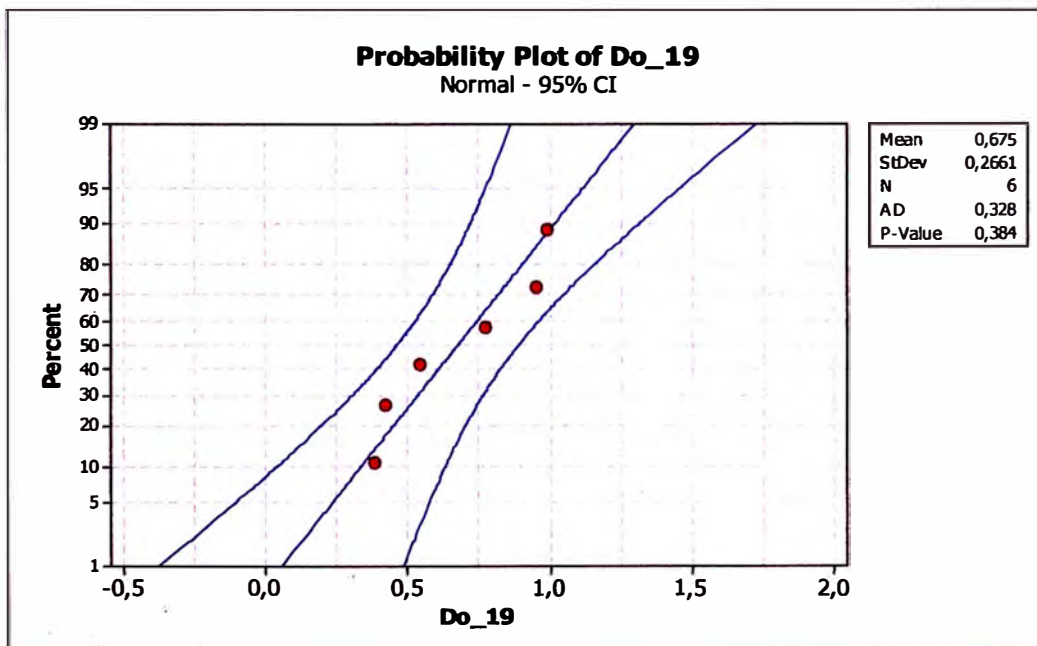
Sector 17



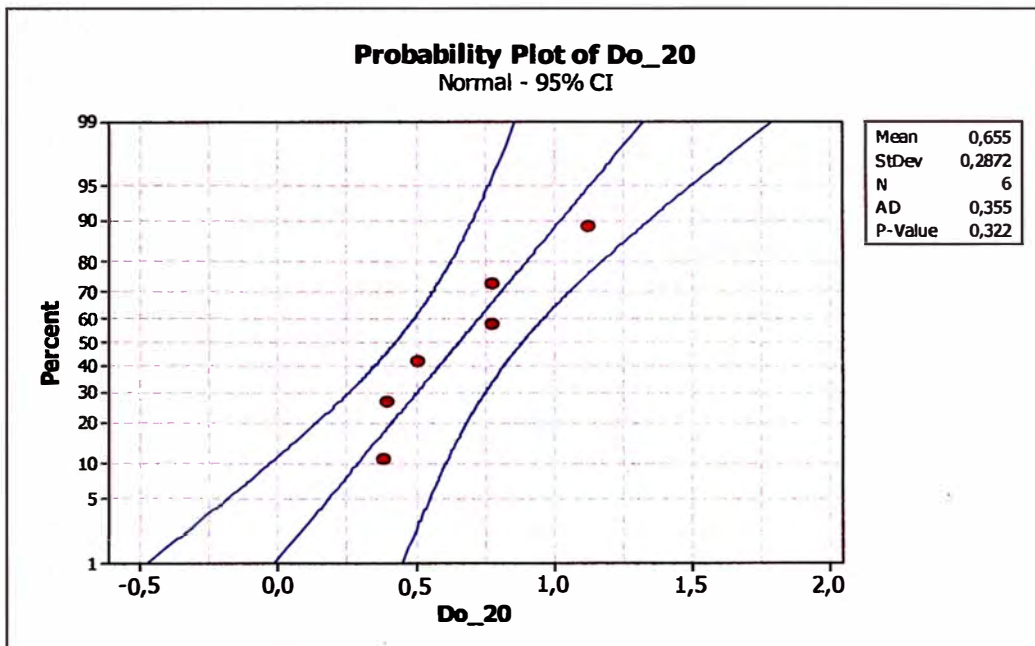
Sector 18.



Sector 19.

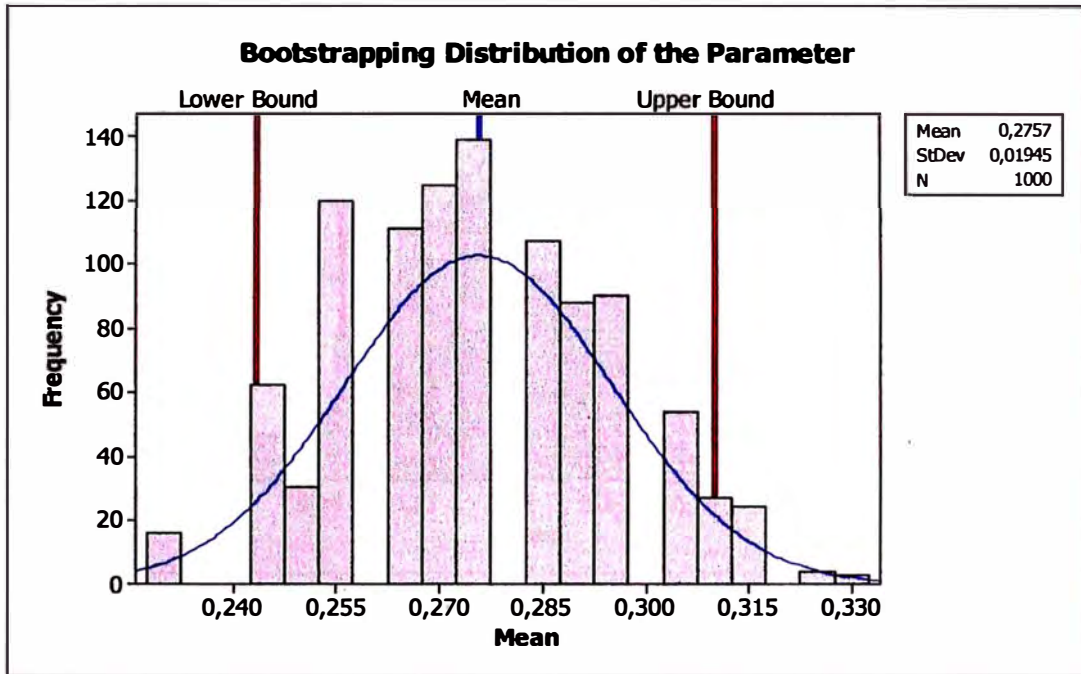


Sector 20.

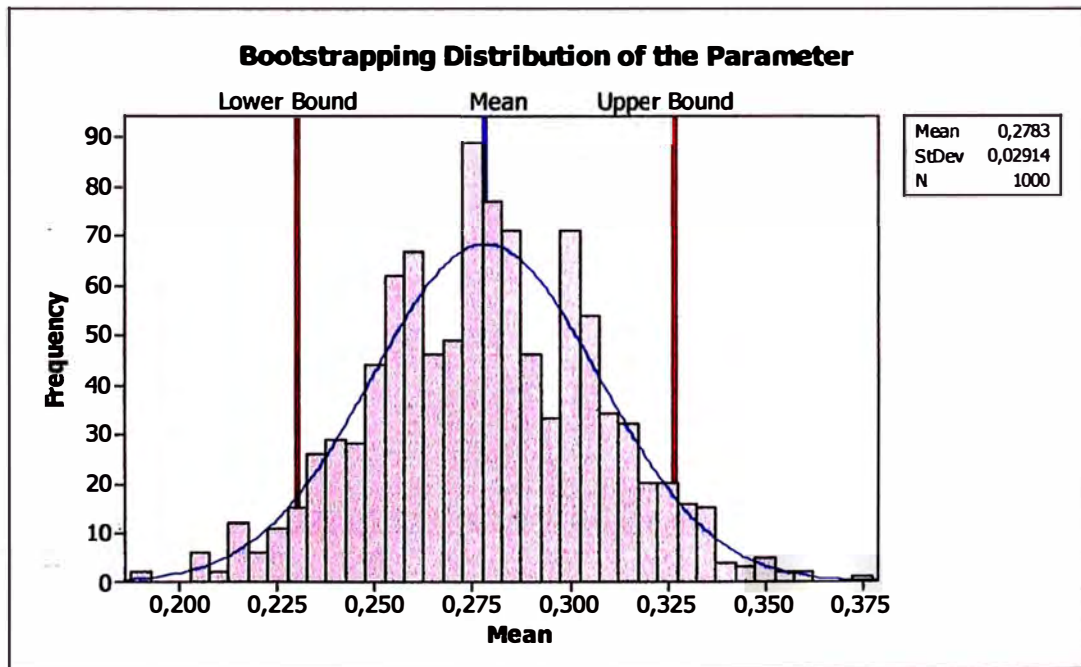


Anexo 4: Cálculo de la deflexión media y la desviación estándar. Aplicación de macro Bootstrap.

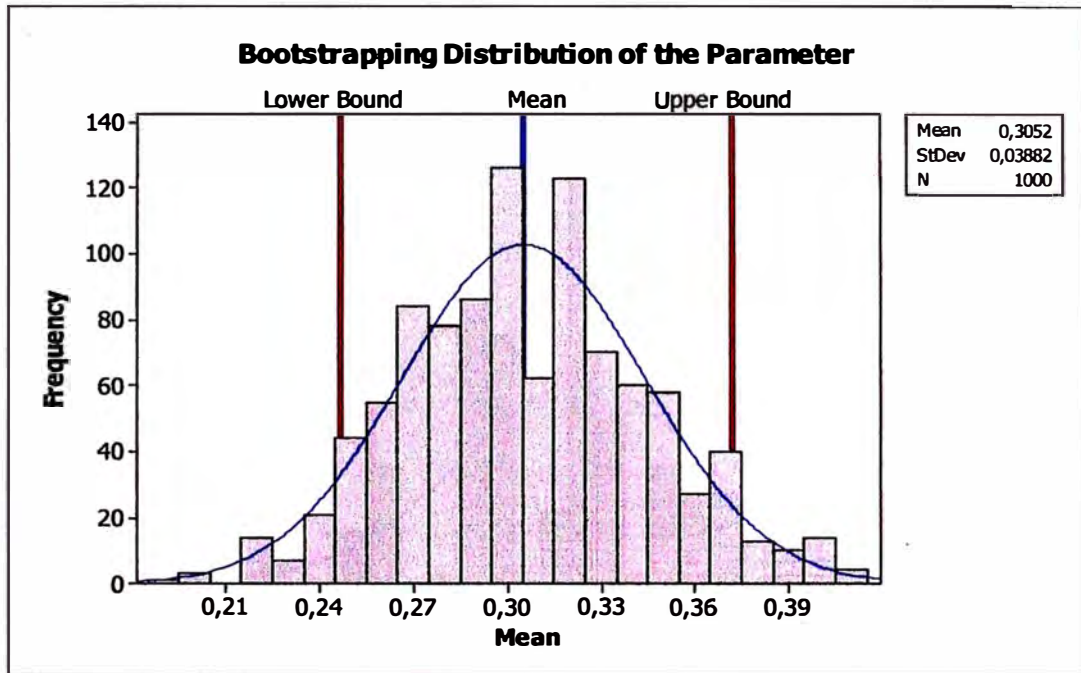
Sector 2.



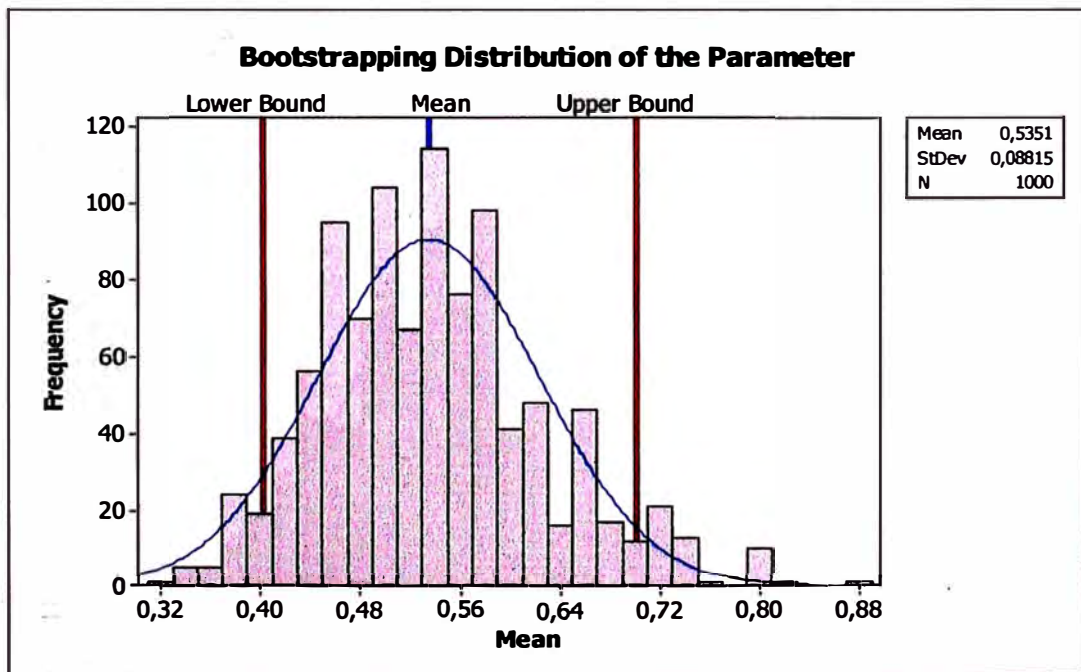
Sector 3



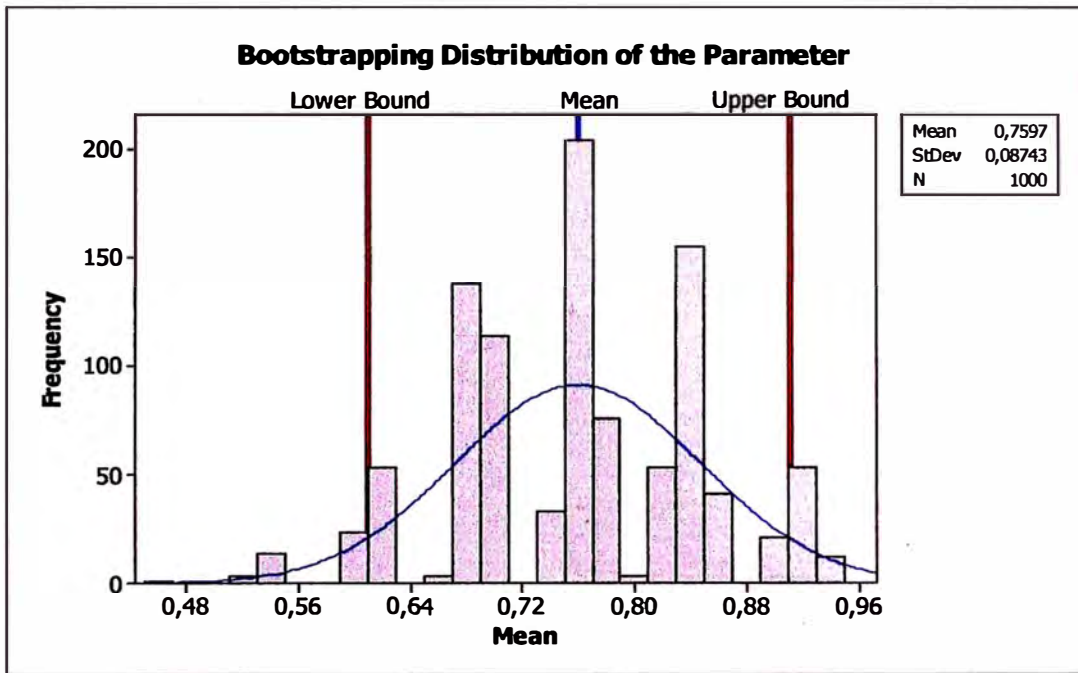
Sector 4.



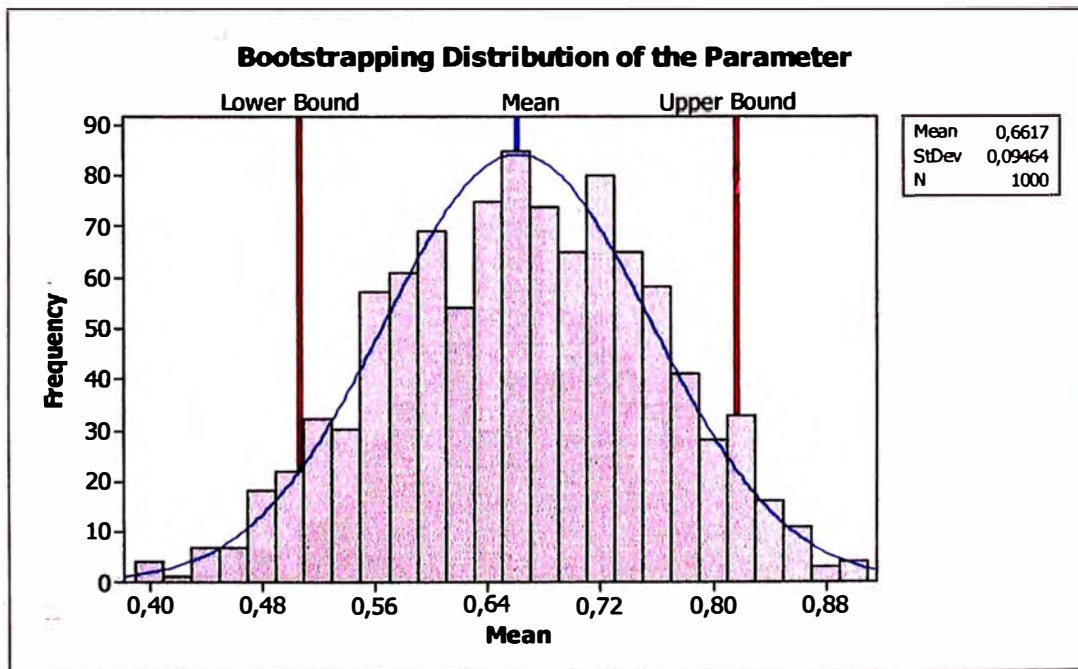
Sector 6.



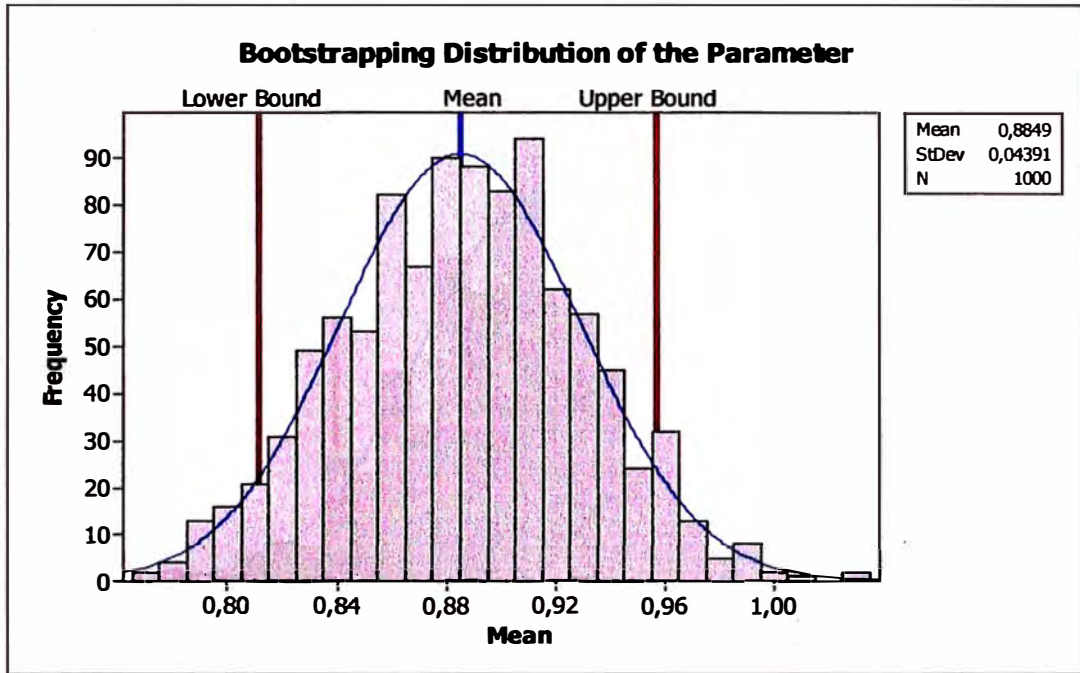
Sector 7.



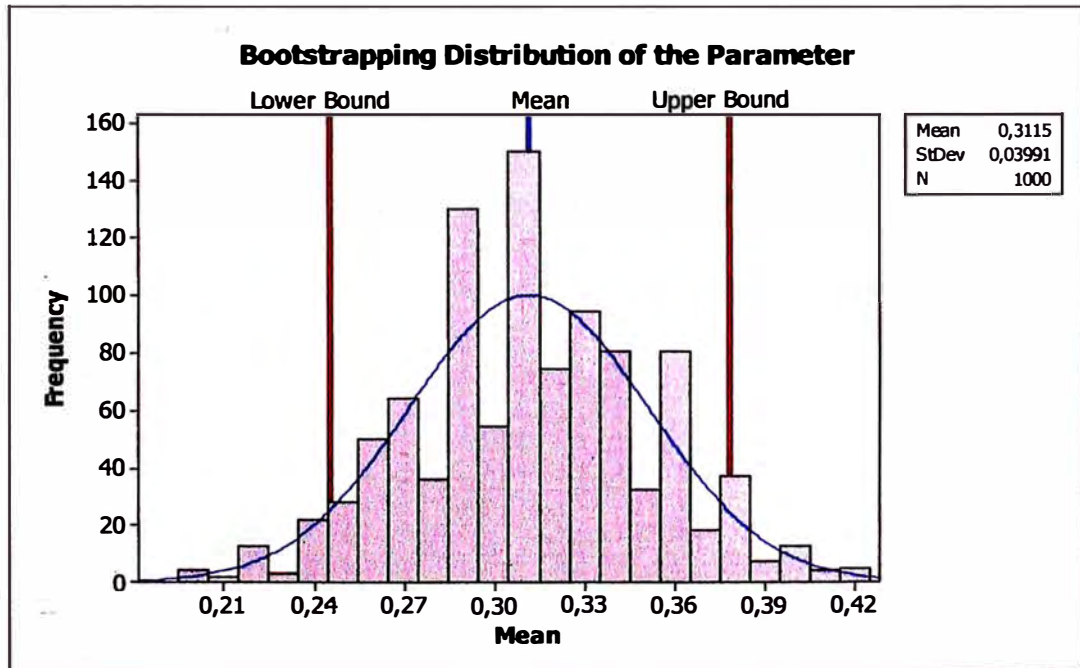
Sector 8.



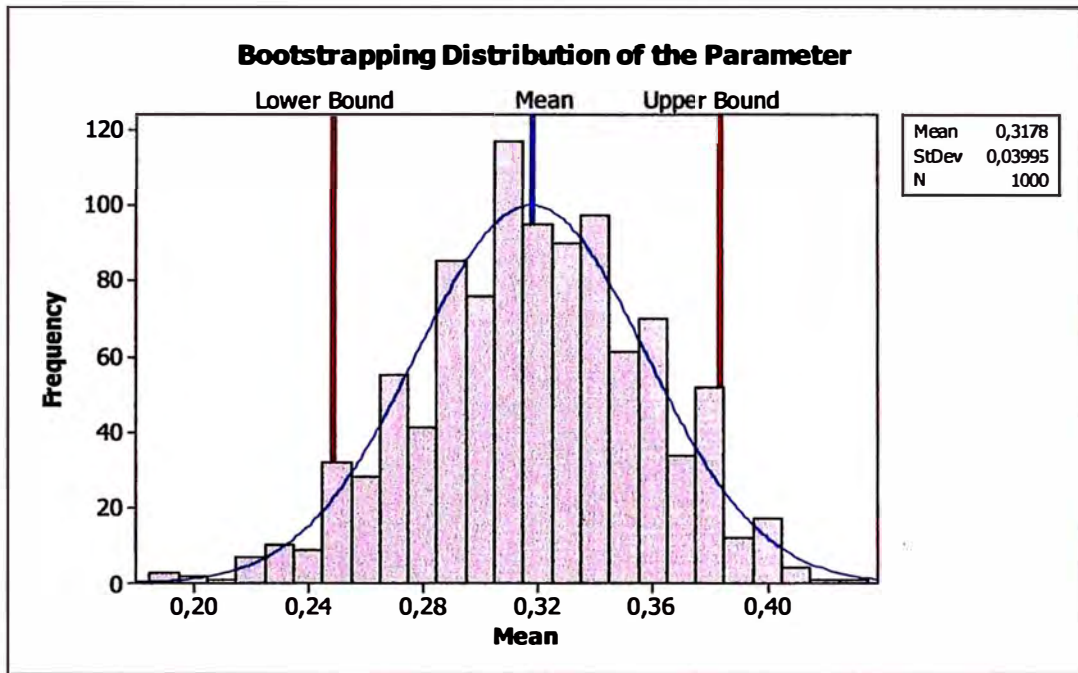
Sector 9.



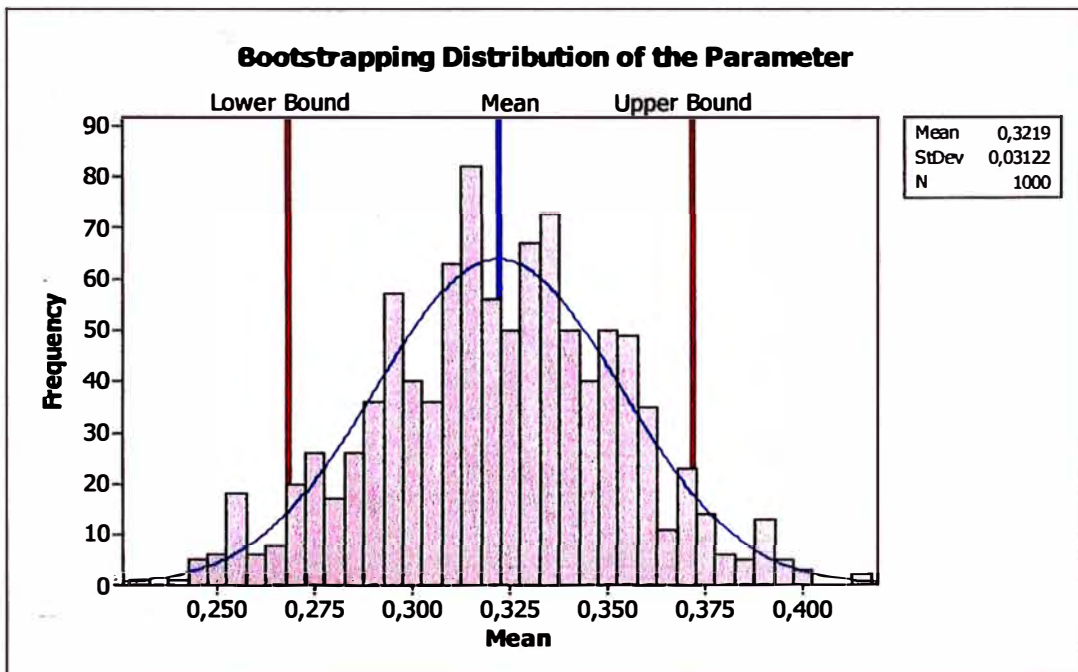
Sector 11.



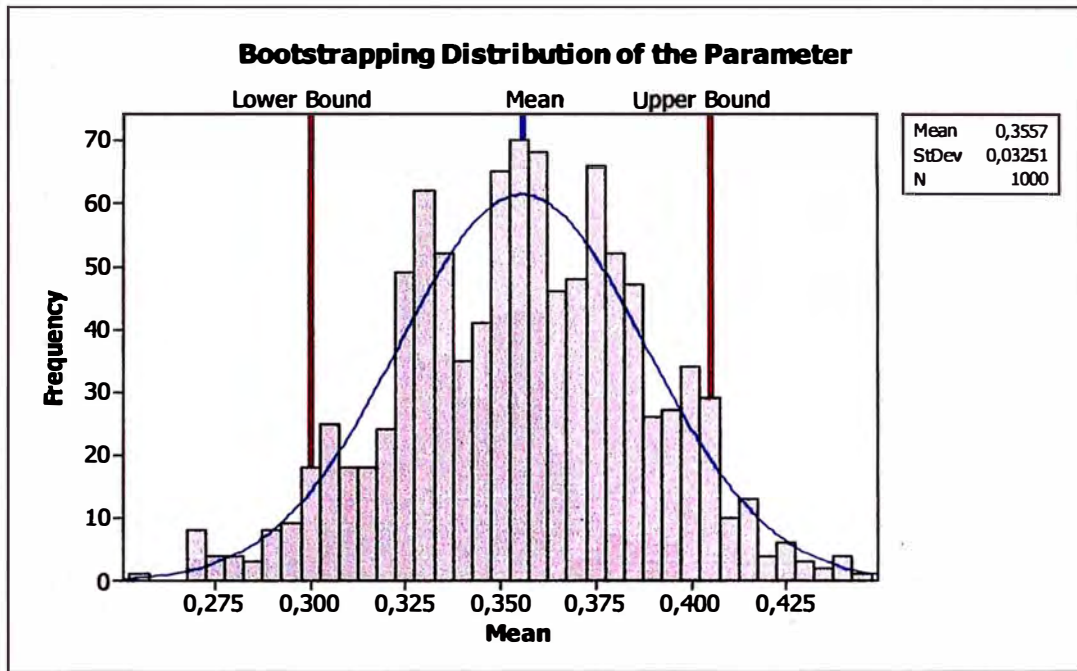
Sector 12.



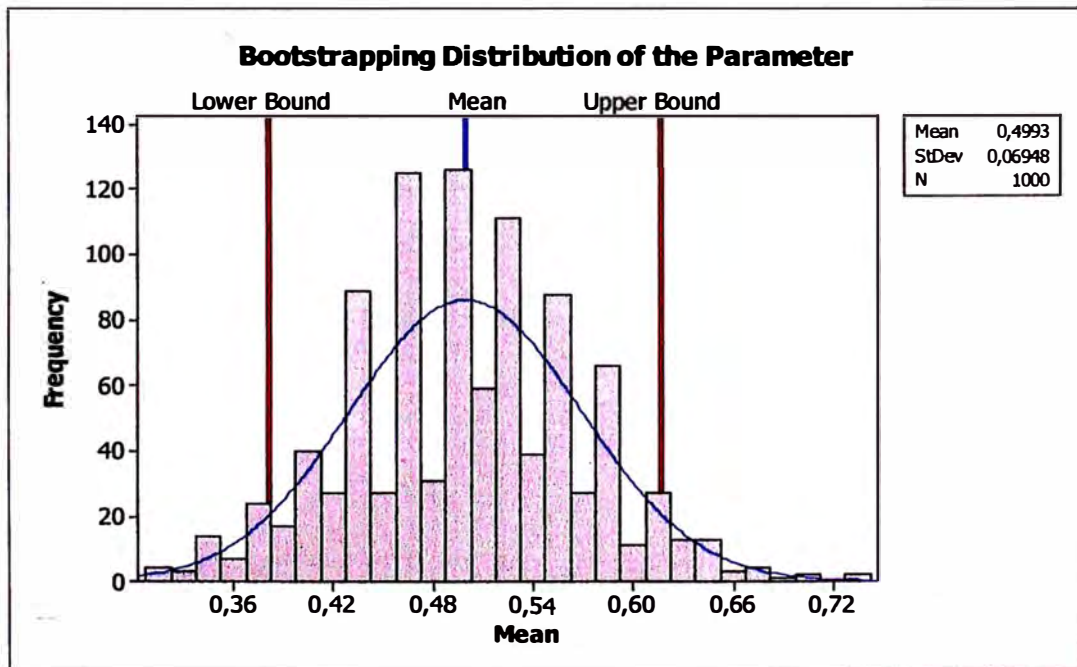
Sector 13.



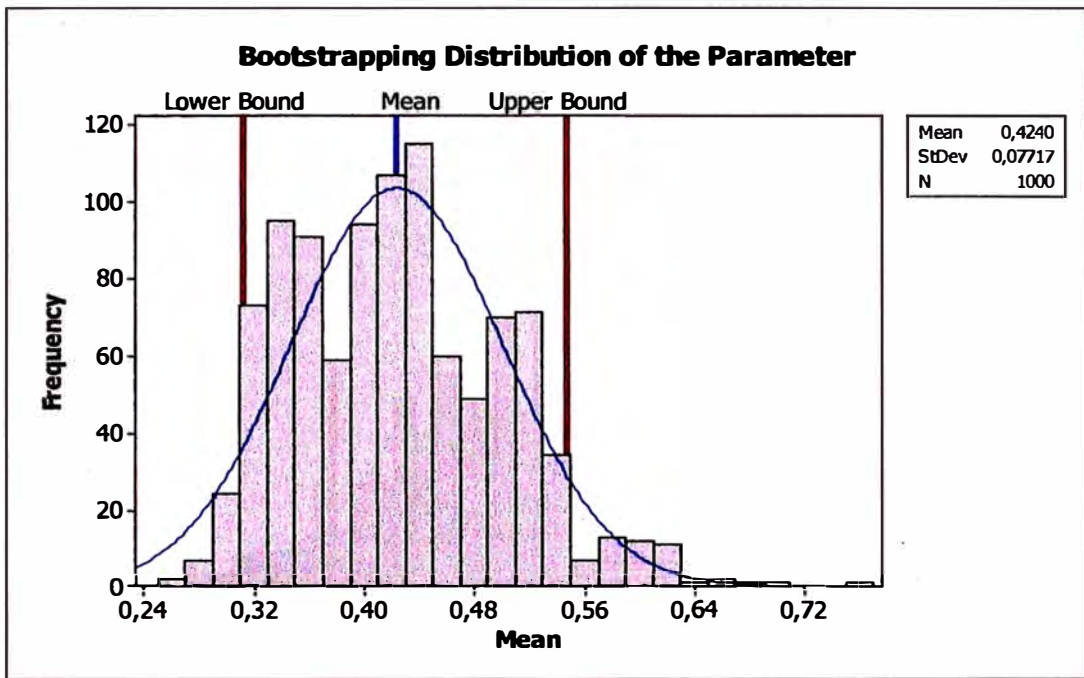
Sector 14.



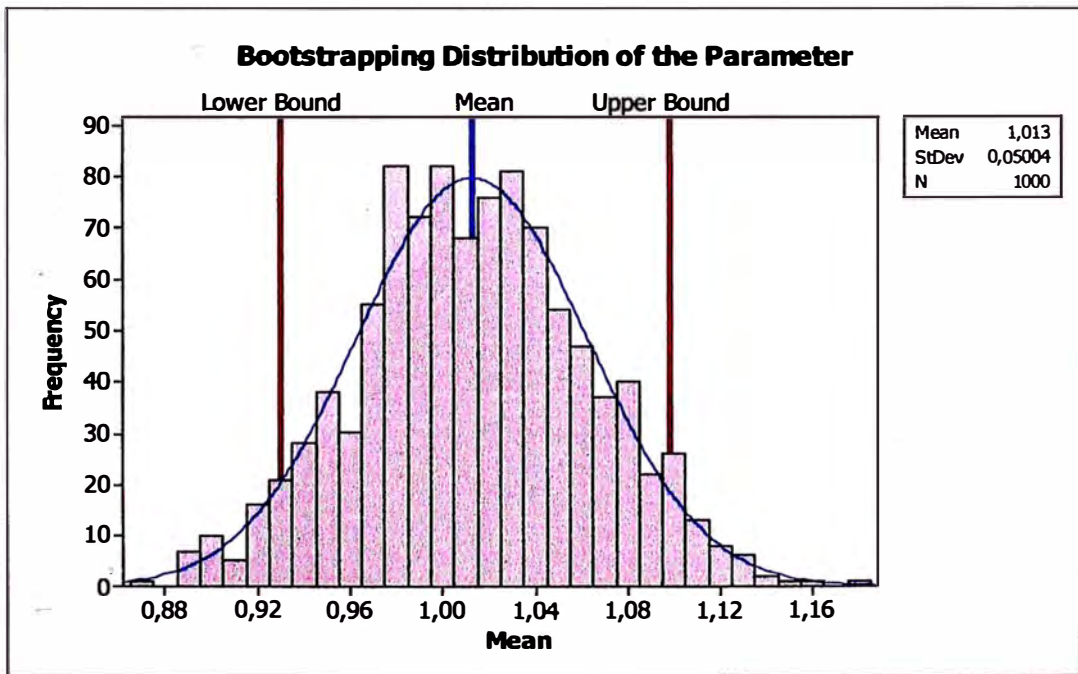
Sector 15.



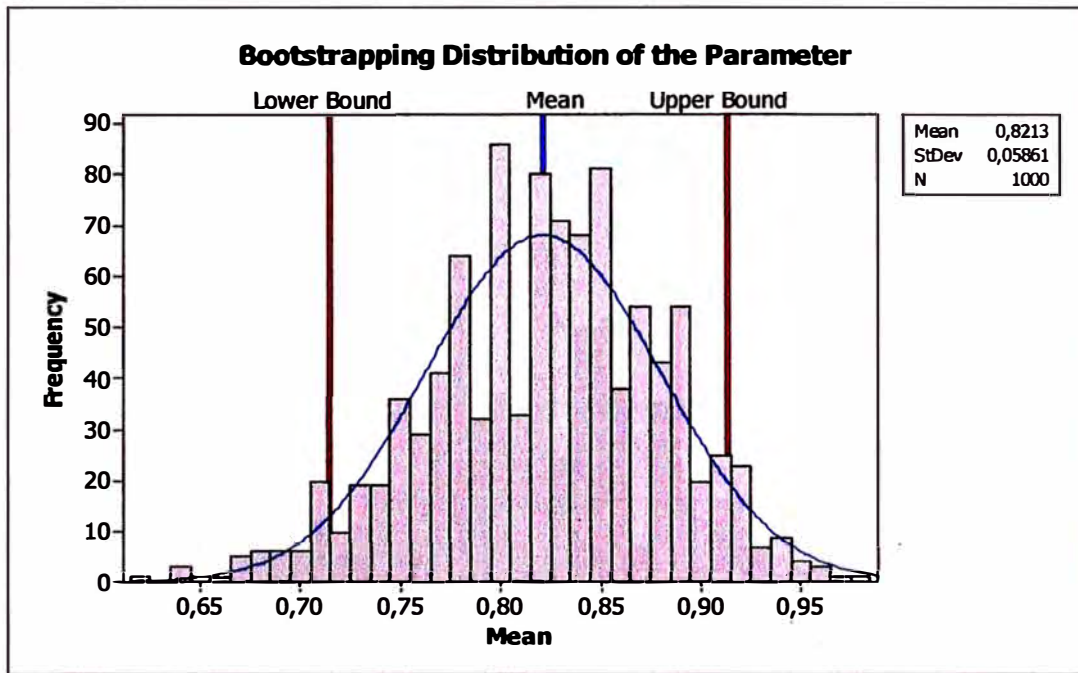
Sector 16.



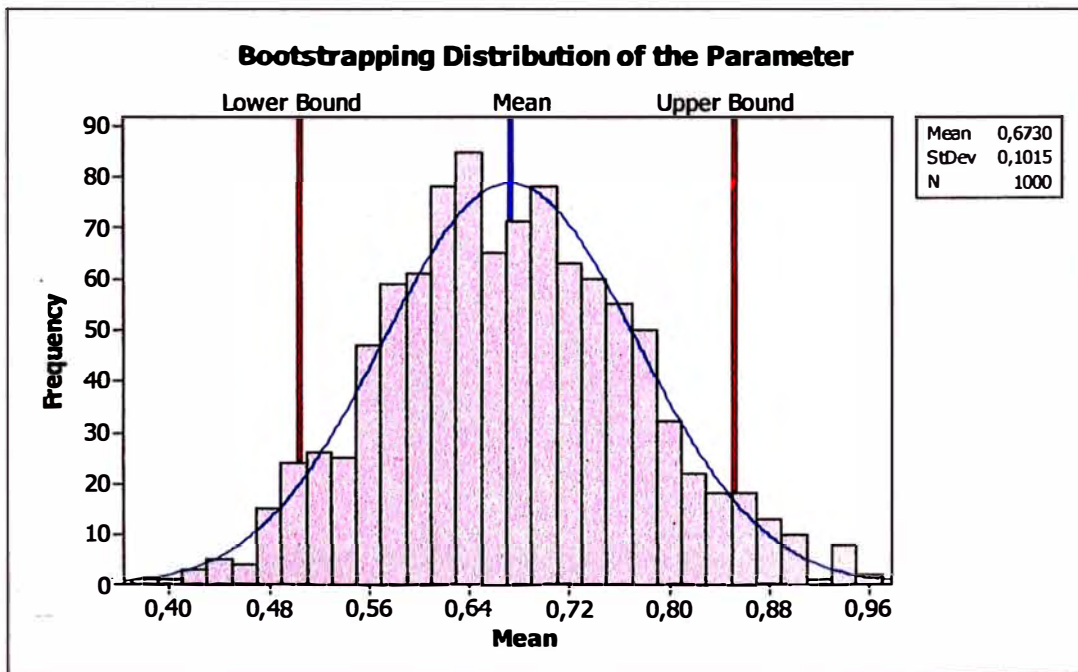
Sector 17.



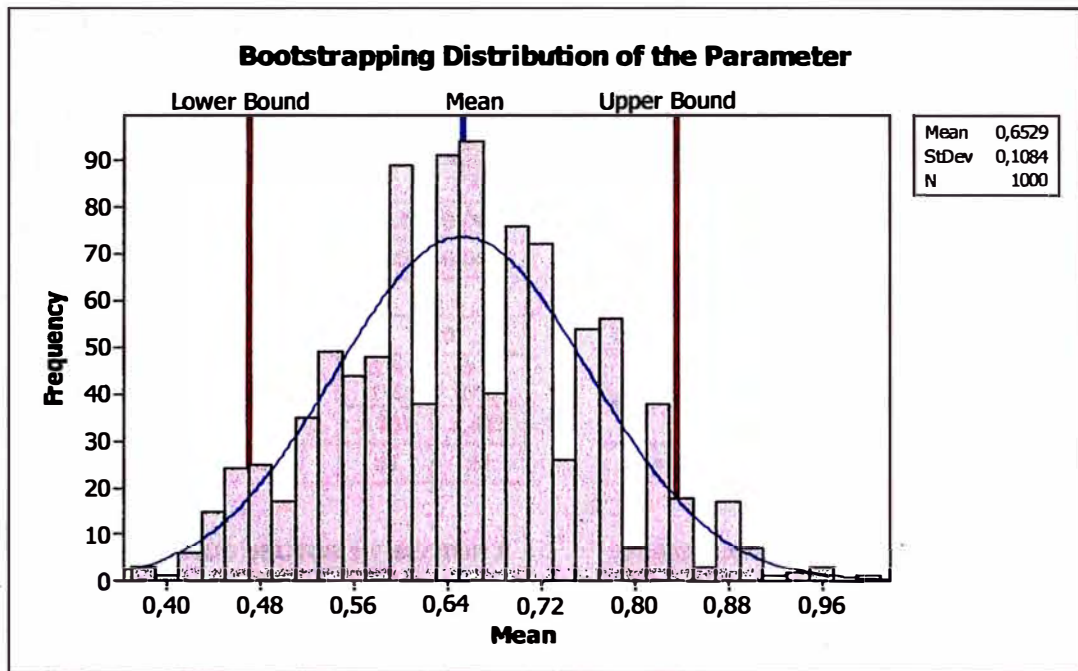
Sector 18.



Sector 19.



Sector 20.



Anexo 5: Prueba de Similitud por el método "t" de Student (Conreval).

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 2

Sector	1	2
Media	0,3333	0,2767
Desviación Estándar	0,0598	0,0195
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0004
Varianza/N	0,0006	0,0001
Número de grados de libertad	6	
Variable estadística t'	2,20	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,707	2,447
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 5

Sector	1	5
Media	0,3333	0,5017
Desviación Estándar	0,0598	0,0336
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0011
Varianza/N	0,0006	0,0002
Número de grados de libertad	9	
Variable estadística t'	6,01	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,250	2,262
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 3

Sector	1	3
Media	0,3333	0,2800
Desviación Estándar	0,0598	0,0291
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0008
Varianza/N	0,0006	0,0001
Número de grados de libertad	8	
Variable estadística t'	1,96	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,355	2,306
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 6

Sector	1	6
Media	0,3333	0,5367
Desviación Estándar	0,0598	0,0882
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0078
Varianza/N	0,0006	0,0013
Número de grados de libertad	10	
Variable estadística t'	4,68	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,169	2,228
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 4

Sector	1	4
Media	0,3333	0,3033
Desviación Estándar	0,0598	0,0388
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0015
Varianza/N	0,0006	0,0003
Número de grados de libertad	10	
Variable estadística t'	1,03	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,169	2,228
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 11

Sector	1	11
Media	0,3333	0,3117
Desviación Estándar	0,0598	0,0399
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0016
Varianza/N	0,0006	0,0003
Número de grados de libertad	10	
Variable estadística t'	0,74	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,169	2,228
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 12

Sector	1	12
Media	0,3333	0,3183
Desviación Estándar	0,0598	0,0400
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0016
Varianza/N	0,0006	0,0003
Número de grados de libertad	10	
Variable estadística t'	0,51	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,169	2,228
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 15

Sector	1	15
Media	0,3333	0,4967
Desviación Estándar	0,0598	0,0695
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0048
Varianza/N	0,0006	0,0008
Número de grados de libertad	11	
Variable estadística t'	4,36	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,106	2,201
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 13

Sector	1	13
Media	0,3333	0,3217
Desviación Estándar	0,0598	0,0400
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0016
Varianza/N	0,0006	0,0003
Número de grados de libertad	10	
Variable estadística t'	0,39	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,169	2,228
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 16

Sector	1	16
Media	0,3333	0,4250
Desviación Estándar	0,0598	0,0772
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0060
Varianza/N	0,0006	0,0010
Número de grados de libertad	11	
Variable estadística t'	2,30	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,106	2,201
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 14

Sector	1	14
Media	0,3333	0,3550
Desviación Estándar	0,0598	0,0325
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0011
Varianza/N	0,0006	0,0002
Número de grados de libertad	8	
Variable estadística t'	0,78	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,355	2,306
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 1 Y SECTOR 10

Sector	1	10
Media	0,3333	0,7983
Desviación Estándar	0,0598	0,1144
N	6	6
Varianza	0,0036	0,0131
Varianza/N	0,0006	0,0022
Número de grados de libertad	8	
Variable estadística t'	8,82	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,355	2,306
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 5 Y SECTOR 6

Sector	5	6
Media	0,5017	0,5367
Desviación Estándar	0,0336	0,0882
N	6	6
Varianza	0,0011	0,0078
Varianza/N	0,0002	0,0013
Número de grados de libertad	6	
Variable estadística t'	0,91	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,707	2,447
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 5 Y SECTOR 15

Sector	5	15
Media	0,5017	0,4967
Desviación Estándar	0,0336	0,0695
N	6	6
Varianza	0,0011	0,0048
Varianza/N	0,0002	0,0008
Número de grados de libertad	8	
Variable estadística t'	0,16	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,355	2,306
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 5 Y SECTOR 7

Sector	5	7
Media	0,5017	0,7617
Desviación Estándar	0,0336	0,0874
N	6	6
Varianza	0,0011	0,0076
Varianza/N	0,0002	0,0013
Número de grados de libertad	7	
Variable estadística t'	6,80	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,499	2,365
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 5 Y SECTOR 16

Sector	5	16
Media	0,5017	0,4250
Desviación Estándar	0,0336	0,0772
N	6	6
Varianza	0,0011	0,0060
Varianza/N	0,0002	0,0010
Número de grados de libertad	7	
Variable estadística t'	2,23	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,499	2,365
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 5 Y SECTOR 8

Sector	5	8
Media	0,5017	0,6583
Desviación Estándar	0,0336	0,0946
N	6	6
Varianza	0,0011	0,0090
Varianza/N	0,0002	0,0015
Número de grados de libertad	6	
Variable estadística t'	3,82	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,707	2,447
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 5 Y SECTOR 17

Sector	5	17
Media	0,5017	1,0100
Desviación Estándar	0,0336	0,0500
N	6	6
Varianza	0,0011	0,0025
Varianza/N	0,0002	0,0004
Número de grados de libertad	10	
Variable estadística t'	20,65	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,169	2,228
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 5 Y SECTOR 10

Sector	5	10
Media	0,5017	0,7983
Desviación Estándar	0,0336	0,1144
N	6	6
Varianza	0,0011	0,0131
Varianza/N	0,0002	0,0022
Número de grados de libertad	6	
Variable estadística t'	6,09	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,707	2,447
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 7 Y SECTOR 10

Sector	7	10
Media	0,7617	0,7983
Desviación Estándar	0,0874	0,1144
N	6	6
Varianza	0,0076	0,0131
Varianza/N	0,0013	0,0022
Número de grados de libertad	11	
Variable estadística t'	0,62	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,106	2,201
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 7 Y SECTOR 8

Sector	7	8
Media	0,7617	0,6583
Desviación Estándar	0,0874	0,0946
N	6	6
Varianza	0,0076	0,0090
Varianza/N	0,0013	0,0015
Número de grados de libertad	11	
Variable estadística t'	1,97	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,106	2,201
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 7 Y SECTOR 17

Sector	7	17
Media	0,7617	1,0100
Desviación Estándar	0,0874	0,0500
N	6	6
Varianza	0,0076	0,0025
Varianza/N	0,0013	0,0004
Número de grados de libertad	9	
Variable estadística t'	6,04	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,250	2,262
ACEPTO LA SIMILITUD?	NO	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 7 Y SECTOR 9

Sector	7	9
Media	0,7617	0,8867
Desviación Estándar	0,0874	0,0439
N	6	6
Varianza	0,0076	0,0019
Varianza/N	0,0013	0,0003
Número de grados de libertad	8	
Variable estadística t'	3,13	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,355	2,306
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	NO

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 7 Y SECTOR 18

Sector	7	18
Media	0,7617	0,8217
Desviación Estándar	0,0874	0,0586
N	6	6
Varianza	0,0076	0,0034
Varianza/N	0,0013	0,0006
Número de grados de libertad	10	
Variable estadística t'	1,40	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,169	2,228
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 7 Y SECTOR 19

Sector	7	19
Media	0,7617	0,6750
Desviación Estándar	0,0874	0,1015
N	6	6
Varianza	0,0076	0,0103
Varianza/N	0,0013	0,0017
Número de grados de libertad	11	
Variable estadística t'	1,59	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,106	2,201
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

PRUEBA DE SIMILITUD SECTOR 7 Y SECTOR 20

Sector	7	20
Media	0,7617	0,6550
Desviación Estándar	0,0874	0,1084
N	6	6
Varianza	0,0076	0,0118
Varianza/N	0,0013	0,0020
Número de grados de libertad	11	
Variable estadística t'	1,88	
Valor de distribución t* (tabla)	$\alpha = 1\%$	$\alpha = 5\%$
	3,106	2,201
ACEPTO LA SIMILITUD?	SI	SI

Anexo 6: Prueba de Similitud por el método Mann Whitney.

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_2

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_2	6	0,2700

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,0600
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,1499.0,2399)
W = 42,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,6310
The test is significant at 0,6248 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_3

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_3	6	0,2900

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,0400
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,1499.0,2400)
W = 41,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,7488
The test is significant at 0,7475 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_4

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_4	6	0,3050

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,0150
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,1800.0,2099)
W = 40,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,9362
The test is significant at 0,9360 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_5

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_5	6	0,4950

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,1800
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,3399.0,0200)
W = 28,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0927
The test is significant at 0,0921 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_6

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_6	6	0,5100

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,1800
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,4000.0,0401)
W = 30,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,1735
The test is significant at 0,1720 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_10

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_10	6	0,8650

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,4750
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,8100.-0,0698)
W = 24,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0250
The test is significant at 0,0245 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_11

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_11	6	0,3300

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,0000
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,1901.0,1999)
W = 39,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 1,0000
The test is significant at 1,0000 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_12

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_12	6	0,3300

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,0000
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,1900.0,2001)
W = 40,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,9362
The test is significant at 0,9354 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_13

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_13	6	0,3300

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,0000
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,1901.0,1999)
W = 39,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 1,0000
The test is significant at 1,0000 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_14

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_14	6	0,3800

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,0500
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,2599.0,1300)
W = 38,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,9362
The test is significant at 0,9360 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_15

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_15	6	0,5000

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,1750
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,4200.0,0900)
W = 29,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,1282
The test is significant at 0,1275 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_16

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_16	6	0,3800

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,0700
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,2900.0,1701)
W = 35,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,5752
The test is significant at 0,5738 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_17

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_17	6	0,9900

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,6800
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,8700.-0,4799)
W = 21,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0051
The test is significant at 0,0050 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_18

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_18	6	0,8500

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,5000
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,7100.-0,2599)
W = 21,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0051
The test is significant at 0,0050 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_19

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_19	6	0,6550

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,3400
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,6401.-0,0300)
W = 26,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0453
The test is significant at 0,0450 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_1. Do_20

	N	Median
Do_1	6	0,3300
Do_20	6	0,6350

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,2650
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,6100.-0,0302)
W = 26,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0453
The test is significant at 0,0446 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_6

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_6	6	0,5100

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,0000
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,2901.0,1801)
W = 38,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,9362
The test is significant at 0,9355 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_7

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_7	6	0,8900

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,3750
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,4700.0,0399)
W = 29,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,1282
The test is significant at 0,1275 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_8

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_8	6	0,6850

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,1650
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,4200.0,1100)
W = 33,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,3785

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_9

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_9	6	0,8950

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,3900
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,5400.-0,2400)
W = 21,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0051

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_10

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_10	6	0,8650

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,3150
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,5901.0,1002)
W = 28,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0927

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_15

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_15	6	0,5000

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,0150
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,2300.0,2400)
W = 39,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 1,0000
The test is significant at 1,0000 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_16

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_16	6	0,3800

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,1150
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,1801.0,2699)
W = 49,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,1282
The test is significant at 0,1255 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_17

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_17	6	0,9900

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,5000
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,6800.-0,3500)
W = 21,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0051

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_18

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_18	6	0,8500

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,3400
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,4900.-0,1200)
W = 22,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0082

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_19

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_19	6	0,6550

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,1350
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,4901.0,1101)
W = 32,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,3367
The test is significant at 0,3358 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_5. Do_20

	N	Median
Do_5	6	0,4950
Do_20	6	0,6350

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0,1100
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,4598.0,1200)
W = 34,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,4712
The test is significant at 0,4688 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_17. Do_18

	N	Median
Do_17	6	0,9900
Do_18	6	0,8500

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,1900
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,0299.0,3801)
W = 50,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0782
The test is significant at 0,0776 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_17. Do_19

	N	Median
Do_17	6	0,9900
Do_19	6	0,6550

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,3700
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,0002.0,6500)
W = 51,5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0547
The test is significant at 0,0542 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: Do_17. Do_20

	N	Median
Do_17	6	0,9900
Do_20	6	0,6350

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,4200
95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (0,0700.0,6501)
W = 53,0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0306
The test is significant at 0,0303 (adjusted for ties)