

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**ANALISIS ESTADISTICO DE LA CUANTIA DE ACERO DE
ESTRUCUTURAS CONSTRUIDAS CON PANELES LIGHT
STEEL FRAMING**

Juan Carlos Zumba Aguirre

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 20 de abril de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Análisis estadístico de la cuantía de acero de estructuras construidas con
paneles Light Steel Framing**

Juan Carlos Zumba Aguirre

Ing. MDI. Gustavo Antonio Tapia Rosales

Quito, 20 de abril de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Juan Carlos Zumba Aguirre

Código: 00208810

Cédula de identidad: 1205067620

Lugar y fecha: Quito, 20 de abril de 2022

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de tesis a mi familia y a mis muchos amigos. Un sentimiento especial de gratitud a mis padres, Lauro Rolando Zumba Mendieta y Rosa Isabel Aguirre Ulloa cuyas palabras de ánimo y empuje a la tenacidad resuenan en mis oídos. Mi hermano Josue Rolando Zumba Aguirre nunca se ha separado de mi lado y es muy especial.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor el Ing. MDI Gustavo Antonio Tapia Rosales por su guía en este trabajo de titulación, así como por su excelente desempeño como profesor a lo largo de mi carrera estudiantil. Agradezco al Mtr. Julio Fernando Ortega Andrade por su colaboración y apoyo en este estudio, por su guía de los modelos estadísticos, así como su colaboración en correcto manejo y estudio de los datos.

RESUMEN

El presente trabajo analiza tres diferentes proyectos de paneles no estructurales de Light Steel Framing con el objetivo de encontrar un indicador que refleje el peso por metro cuadrado, este indicador es utilizado para presupuestar el proyecto y servirá de guía para presupuestar nuevos proyectos de características similares.

Analizando los datos se compararon diferentes distribuciones a través de los métodos AIC y BIC encontrando las distribuciones que más se acoplen a los datos, se ajustó la distribución más cercana con lo cual se realizó el análisis de probabilidades encontrando el valor más esperado, a través de este nuevo indicador se realizó un análisis comparativo de costos entre los precios presupuestados de los anteriores proyectos versus los encontrados con el nuevo indicador. Se encontró que todos los proyectos se ajustan a una distribución logarítmica normal sesgada a la izquierda, por lo que asumir el valor promedio para costear los proyectos resulta en pérdidas en unos proyectos y ganancias en otros, por lo que se brinda a través de este trabajo un indicador con un rango para poder costear proyectos de características similares.

ABSTRACT

The present work analyzes three different projects of non-structural panels of Light Steel Framing with the objective of finding an indicator that reflects the weight per square meter. This indicator is used to budget the project and will serve as a guide to budget new projects with similar characteristics.

Analyzing the data, different distributions were compared through the AIC and BIC methods, finding the distributions that best fit the data, the closest distribution was adjusted, with which the probability analysis was carried out, finding the most probable value, through With this new indicator, a comparative cost analysis was carried out between the budgeted prices of the previous projects versus those found with the new indicator. It was found that all projects fit a logarithmic normal distribution skewed to the left, so assuming the average value to cost the projects results in losses in some projects and profits in others, which is why it is provided through this work. an indicator with a range to be able to afford projects with similar characteristics.

Key Word: Steel Light Frame, densidad de acero, cantidad de acero, cuantía de acero, consumo real de acero, costos por metro cuadrado.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	11
Marco teorico.....	12
Base de datos	15
Analisis estadistico	17
Conclusiones	42
Referencias bibliograficas	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valor medio para cada proyecto	16
Tabla 2 Intervalos de confianza	21
Tabla 3 Nuevos valores.....	22
Tabla 4 Tabla de probabilidad Proyecto A	23
Tabla 5 Análisis de costos.....	24
Tabla 6 Resumen Proyecto A	25
Tabla 7 Intervalos de confianza Proyecto B	30
Tabla 8 Nuevos valores Proyecto B.....	30
Tabla 9 Tabla de probabilidad Proyecto B	31
Tabla 10 Análisis de costos Proyecto B.....	32
Tabla 11 Resumen Proyecto B.....	33
Tabla 12 Intervalos de confianza	38
Tabla 13 Muestreo de nuevos valores Proyecto C.....	38
Tabla 14 Tabla de probabilidad Proyecto C	39
Tabla 15 Análisis de costos Proyecto C.....	40
Tabla 16 Resumen Proyecto C.....	41
Tabla 17 Resumen costos por proyecto	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Paneles	15
Ilustración 2 Análisis estadístico descriptivo Proyecto A.....	17
Ilustración 3 Comparación distribuciones	18
Ilustración 4 Distribución datos Proyecto A.....	19
Ilustración 5 Representación distribuciones, CDF , Density	20
Ilustración 6 Muestreo de probabilidad	22
Ilustración 7: Comparativa de costos	24
Ilustración 8 Summary Proyecto A.....	25
Ilustración 9 Análisis estadístico descriptivo Proyecto B.....	26
Ilustración 10 Comparación distribuciones Proyecto B.....	27
Ilustración 11 Distribución datos Proyecto B	28
Ilustración 12 Representación distribuciones, CDF , Density Proyecto B	29
Ilustración 13 Muestreo de probabilidad Proyecto B	31
Ilustración 14 Comparativa de costos Proyecto B	32
Ilustración 15 Resumen Proyecto B.....	33
Ilustración 16 Análisis estadístico descriptivo Proyecto B.....	34
Ilustración 17 Comparación distribuciones Proyecto C.....	35
Ilustración 18 Distribución datos Proyecto C	36
Ilustración 19 Muestreo de probabilidad Proyecto C	39
Ilustración 20 Comparativa de costos	40
Ilustración 21 Resumen Proyecto C.....	41
Ilustración 22 Costos Proyecto A para los diferentes valores de cuantía de acero.....	43
Ilustración 23 Costos Proyecto B para los diferentes valores de cuantía de acero	43
Ilustración 24 Costos Proyecto C para los diferentes valores de cuantía de acero	43

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo realiza un análisis de tres diferentes proyectos con el fin de encontrar un indicador de la cuantía de acero que permita presupuestar nuevos proyectos de características similares. Los paneles de Light Steel Framing son relativamente recientes en el país, los paneles son realizados a medida para los diferentes proyectos, esto dificulta bastante el presupuestar, puesto no se cuenta con un indicador el cual nos permita presupuestar de manera fiable, hasta el momento se han usado indicadores estimados a través de métodos ingenieriles basados en conceptos estructurales tomando las situaciones más críticas con el fin de responder ágilmente a la alta demanda de cotizaciones sobre este sistema, debido a esto cuando se ejecutan los proyectos se asume un único valor del indicador [peso por metro cuadrado] para el análisis de precios unitarios, este indicador es fluctuante en la realidad, por lo que es necesario un indicador que presente una solución mucho mejor para la cotización de nuevos proyectos. Este trabajo brinda un indicador con la fiabilidad necesaria para poder ser usado en otros proyectos, así como el análisis comparativo de los costos de construcción de los proyectos analizados con el fin de observar la variación de los presupuestos.

MARCO TEORICO

En el análisis de modelación estadística, es de suma importancia la selección del modelo más adecuado, es decir, entre un conjunto de modelos elegir el modelo que más se acople a la distribución de los datos. Los índices [BIC] y [AIC] (Criterio de información Bayesiano y Aikiano) son usados frecuentemente en la selección de modelos estadísticos, "El AIC fue propuesto por Akaike(1974) como un estimador insesgado asintótico de la información de Kullback-Leibler esperada, entre un modelo candidato ajustado y el verdadero modelo. El BIC fue derivado por Schwarz en 1978 como una aproximación a una transformación de la probabilidad posterior de un modelo candidato." (Montesinos., 2011).

En el presente estudio se usan los criterios antes mencionados [AIC] y [BIC], considerando los modelos de distribución de los paquetes:

- Weibull
- Log-normal
- Log-logística
- Gaussiana inversa
- Rayleigh
- Exponencial y Gama Generalizada

Hacer coincidir una distribución de parámetros de un conjunto de datos implica encontrar el valor de los parámetros para los cuales, la distribución pueda producir los datos analizados.

La diferencia entre los índices [AIC] y [BIC] es la penalización en el número de parámetros en la distribución. Cuanto menor sea el valor de los índices mejor el ajuste de la distribución, ninguna de las métricas [AIC] o [BIC] pueden cuantificar la calidad absoluta de un modelo, sino la relativa.

Teóricamente para un análisis de datos, se necesitan una gran cantidad de muestras, cuya distribución presenta dos características, su dispersión, permite conocer el error esperado y su promedio converge con el valor real. En el presente estudio no fue posible acceder a múltiples muestras. El método bootstrapping genera nuevas pseudo muestras, mediante el muestreo repetido. Este es un proceso de simulación con la cual se puede aproximar la distribución muestral.

A través de estas funciones se pudo obtener un muestreo más amplio de los datos cuantificados, y poder ajustar la distribución que sea más compatible comparando los índices BIC y AIC, obteniendo los parámetros que definen la distribución de los datos se generó el análisis probabilístico obteniendo el valor más probable.

El presente proyecto usa la distribución log-normal para definir los datos de los proyectos analizados, esta distribución se describe a partir de dos parámetros, la media aritmética del logaritmo de los datos y la desviación estándar del logaritmo de los datos.

Esta distribución “es idónea para parámetros que son a su vez producto de numerosas cantidades aleatorias” (Pino, 1999), es decir para datos de distribuciones empíricas.

La media en la distribución log-normal es mayor que su mediana, por lo que da mayor interés a los valores de la tasa de fallo que sean grandes

La esperanza matemática o media en la distribución log-normal es mayor que su mediana. De este modo da más importancia a los valores grandes de las tasas de fallo que una

distribución normal que presente en sus percentiles 5% y 50% los mismos valores tendiendo, por tanto, a ser pesimista.

BASE DE DATOS

A través de los proyectos seleccionados se realizó la base de datos para el previo análisis estadístico, cada proyecto presenta una configuración de paneles diferentes, a continuación, se presenta un ejemplar de los paneles usados en cada construcción.

Todas las edificaciones analizadas poseen diferentes configuraciones de paneles, los presentados a continuación son solo uno de los diferentes paneles usados.

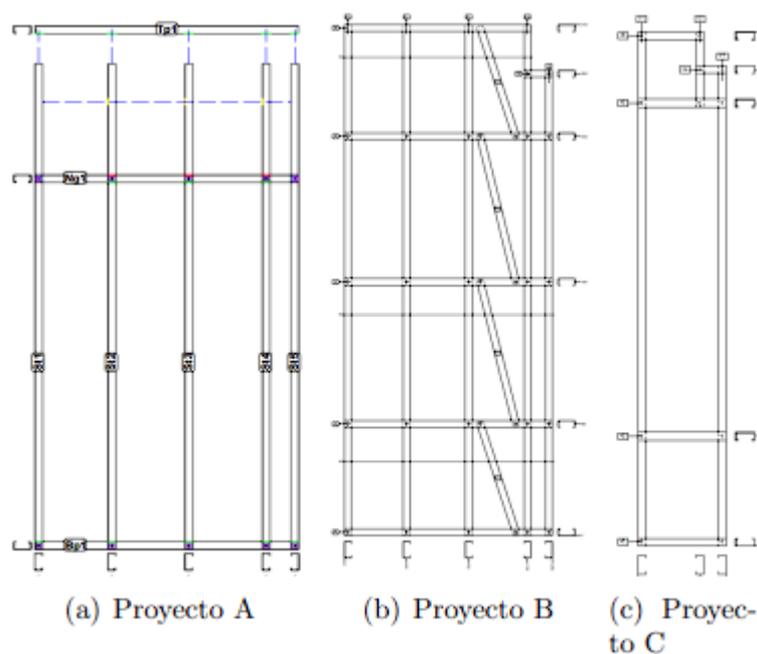


Ilustración 1 Paneles

Se analizaron 2134 datos obtenidos de los diferentes proyectos, los cuales fueron depurados y analizados independientemente para obtener la cuantía de acero [Kg/m²] necesario para poder analizar las distribuciones generadas a partir de las mismas.

En el mismo análisis se depuro la base de datos, detectando y eliminando los valores atípicos presentes en la misma, principalmente se eliminaron los datos de paneles pequeños y paneles con una relación de vacíos menor a 1.5 dado que estos disparaban el indicador de la cuantía de acero estudiado.

A continuación, se presentan los valores medios de cuantía de acero [Kg/m²] para cada proyecto.

Tabla 1 Valor medio para cada proyecto

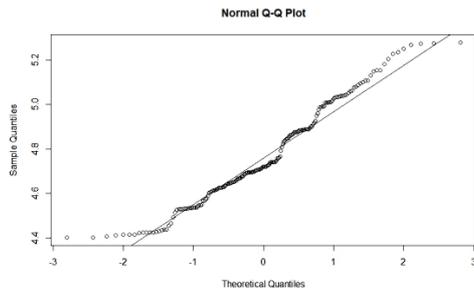
Proyecto	Cuantía de acero	
Proyecto A	4.721	Kg/m ²
Proyecto B	7.229	Kg/m ²
Proyecto C	11.73	Kg/m ²

ANALISIS ESTADISTICO

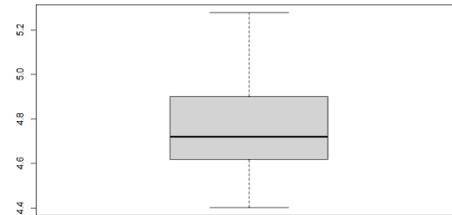
2. Proyecto A

2.1. Estadística descriptiva Proyecto A

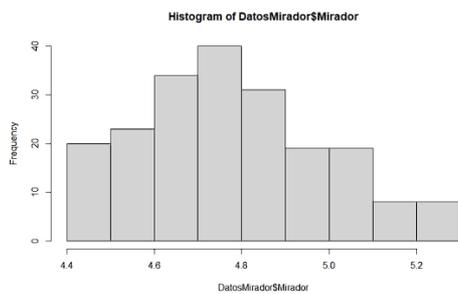
A continuación, se presenta un primer análisis de los datos del proyecto A.



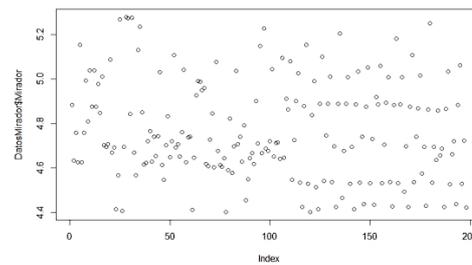
(a) Cuantiles Teóricos A



(b) Boxplot A



(c) Histograma A



(d) Datos A

Ilustración 2 Análisis estadístico descriptivo Proyecto A

Como se puede observar en la Ilustración 2 los datos no siguen una distribución normal, por lo que se procede a comparar los datos con diferentes distribuciones, buscando la que mejor se acople a la distribución de los datos.

La Ilustración 2.a nos da una representación de las características principales de los datos, podemos observar que no existe presencia de valores atípicos, puesto los mismos fueron eliminados cuando se depuro la base de datos, a través del diagrama de caja y bigote se puede ver que el 25 % de los datos para el proyecto A se encuentran entre [4.4] y [4.6] y los datos

que se encuentran más cerca de la mediana [4.721] se encuentran dentro de [4.618] y [4.721] por otra parte, tenemos una dispersión de datos que se sesga hacia la derecha de la distribución como se puede observar en la Ilustración 3.c

2.2. Ajuste de distribución proyecto A

	distribucion	df	AIC
1	mlbetapr(DatosMirador\$Mirador)	2	-39.2664356
2	mlinvgauss(DatosMirador\$Mirador)	2	-38.7205301
3	mllnorm(DatosMirador\$Mirador)	2	-38.6967998
4	mlinweibull(DatosMirador\$Mirador)	2	-38.6659692
5	mlweibull(DatosMirador\$Mirador)	2	-0.5322255
6	mlrayleigh(DatosMirador\$Mirador)	1	743.1434270
7	mlexp(DatosMirador\$Mirador)	1	1016.3806273
8	mlinvgamma(DatosMirador\$Mirador)	2	Inf
9	mlgamma(DatosMirador\$Mirador)	2	Inf
10	mllgamma(DatosMirador\$Mirador)	2	Inf

(a) Comparación AIC

	distribucion	df	BIC
1	mlbetapr(DatosMirador\$Mirador)	2	-32.689901
2	mlinvgauss(DatosMirador\$Mirador)	2	-32.143996
3	mllnorm(DatosMirador\$Mirador)	2	-32.120266
4	mlinweibull(DatosMirador\$Mirador)	2	-32.089435
5	mlweibull(DatosMirador\$Mirador)	2	6.044309
6	mlrayleigh(DatosMirador\$Mirador)	1	746.431694
7	mlexp(DatosMirador\$Mirador)	1	1019.668894
8	mlinvgamma(DatosMirador\$Mirador)	2	Inf
9	mlgamma(DatosMirador\$Mirador)	2	Inf
10	mllgamma(DatosMirador\$Mirador)	2	Inf

(b) Comparacion BIC

Ilustración 3 Comparación distribuciones

A través del análisis AIC y BIC se seleccionan las distribuciones logarítmica-normal e inversa-gaussiana para la comparación con la distribución de los datos. Estas distribuciones se seleccionaron al ser las más compatibles con la distribución propia de los datos del proyecto A. Se puede observar que ambas distribuciones se acoplan bastante bien a los datos, por lo que cualquiera de las dos distribuciones seleccionadas podría ser usada

para el análisis, en este estudio se selecciona la distribución logarítmica normal para los demás análisis.

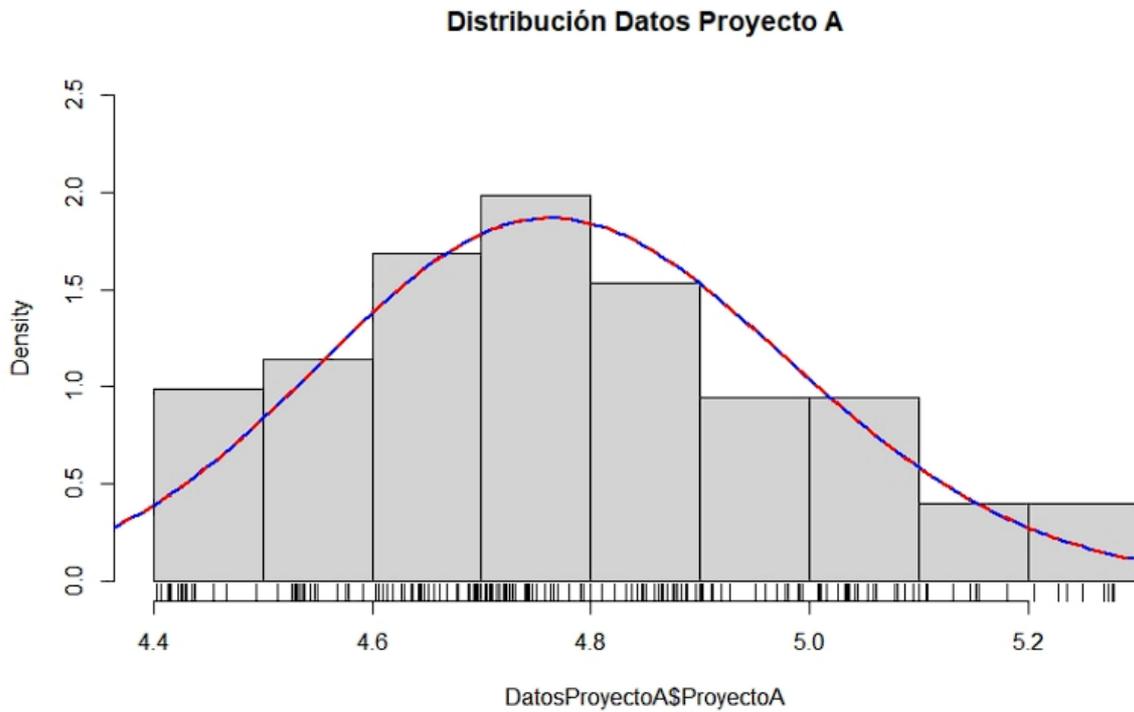


Ilustración 4 Distribución datos Proyecto A

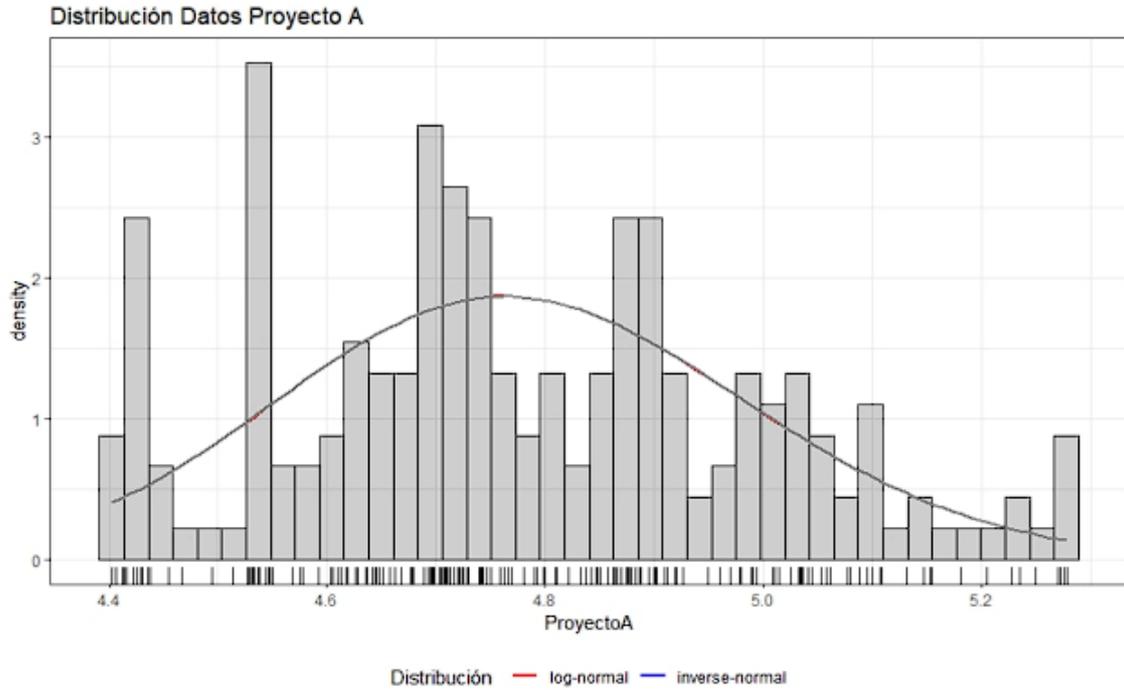
La distribución logarítmica normal se define a través de dos factores o parámetros, la media aritméticas y la desviación estándar:

- Media aritmética del logaritmo [meanlog]

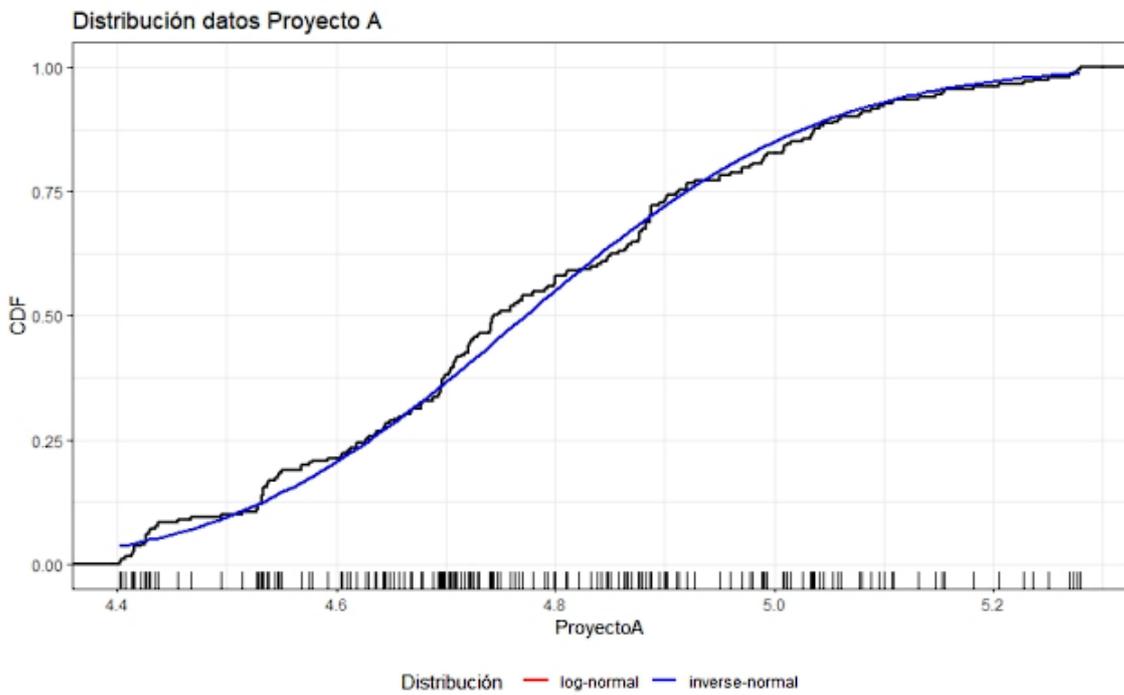
$$\text{Meanlog} = 1,56291471$$

- Desviación estándar del logaritmo [sdlog]

$$\text{Sdlog} = 0,04482865$$



(a) Representación distribución A, Density



(b) Representación distribución A, CDF

Ilustración 5 Representación distribuciones, CDF , Density

La ilustración 5.a y 5.b permite comparar las distribuciones logarítmica normal e inversa gaussiana para la distribución de densidad y probabilidad acumulada de los datos del Proyecto A, se puede observar que ambas se ajustan de igual manera a la distribución, por lo que cualquiera de las dos podría ser usada.

2.3. Valor de máxima verosimilitud e intervalos de confianza

La función de probabilidad es un concepto fundamental en la inferencia estadística. Indica que tan probable es que una población en particular produzca una muestra observada. (Fisher, 1935) . La función de verosimilitud no es una de probabilidad (ni densidad), ya que su argumento es el parámetro [T] de la distribución, no la variable aleatoria (vectorial) en sí.

$$\text{Log likelihood} = 24,85703$$

Además del valor de máxima verosimilitud de los parámetros analizados, es importante conocer la incertidumbre de la estimación, para esto se utilizó los intervalos de confianza [Bootstrap]. El método Bootstrap emplea un enfoque muy diferente para estimar las distribuciones muestra-les a los métodos de prueba de hipótesis tradicional. Este método toma los datos de la muestra que obtiene un estudio y luego los muestrea una y otra vez para crear muchas muestras simuladas. (Poitevin, 20212)

Tabla 2 Intervalos de confianza

Parámetros	5%	50%	95%
Meanlog	1.558	1.563	1.568
Sdlog	0.041	0.045	0.048

La tabla 2 presenta los valores de media aritmética y desviación estándar calculados a través del método bootstrapping, generado un intervalo de confianza en donde se acota un rango dentro del cual se localiza el parámetro de densidad de acero, para e proyecto A

2.4. Muestreo de nuevos valores

Con la distribución ajustada se puede crear nuevos valores de cuantía de acero, los cuales seguirán la nueva distribución. A continuación, se simularán 5 nuevos valores del indicador para la distribución logarítmica normal.

Tabla 3 Nuevos valores

Nuevos Valores [Kg/m ²]				
4.654	4.724	5.118	4.788	4.800

2.5. Análisis probabilístico

A continuación, se presenta el análisis de probabilidades de la distribución de los datos del Proyecto A.

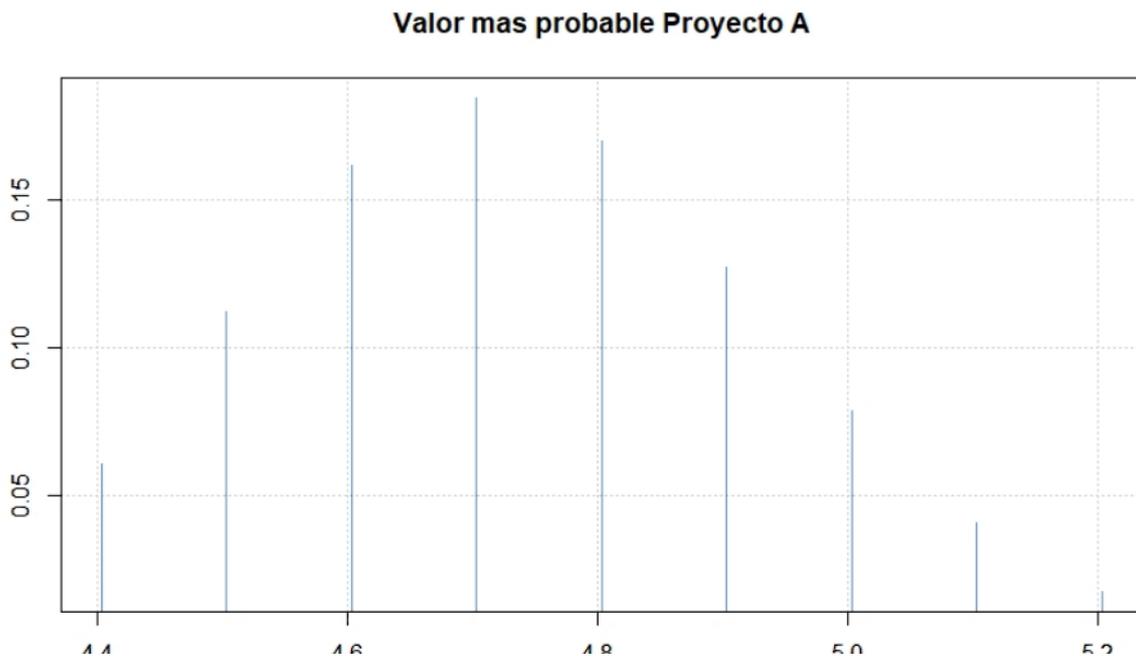


Ilustración 6 Muestreo de probabilidad

Como se puede observar el valor más probable para el indicador se encuentra entre los valores de [4,6 Kg/m²] a [4,8 Kg/m²].

Tabla 4 Tabla de probabilidad Proyecto A

Probabilidad	Indicador	
2.49%	4.402851	Kg/m ²
3.62%	4.452851	Kg/m ²
4.93%	4.502851	Kg/m ²
6.30%	4.552851	Kg/m ²
7.58%	4.602851	Kg/m ²
8.59%	4.652851	Kg/m ²
9.18%	4.702851	Kg/m ²
9.29%	4.752851	Kg/m ²
8.90%	4.802851	Kg/m ²
8.09%	4.852851	Kg/m ²
6.99%	4.902851	Kg/m ²
5.75%	4.952851	Kg/m ²
4.51%	5.002851	Kg/m ²
3.38%	5.052851	Kg/m ²
2.42%	5.102851	Kg/m ²
1.66%	5.152851	Kg/m ²
1.09%	5.202851	Kg/m ²
0.69%	5.252851	Kg/m ²

Como se puede observar de la Tablas 4 el valor más probable de densidad de acero para el proyecto A es de [4.75 kg/m²]. Esta probabilidad se calculó en intervalos cada 0.05 desde el mínimo hasta el máximo de los valores de la muestra del Proyecto A

$$P(\min(\text{Datos Proyecto A}) < x < \max(\text{Datos Proyecto A}))$$

$$P_{\text{norm}}(4.40 + 0.05, 1.5621, 0.0448) - P_{\text{norm}}(4.40, 1.5621, 0.0448)$$

$$\text{Probabilidad} = 2.49 \%$$

A través de este análisis se propone el nuevo indicador de la cuantía de acero y se realiza un análisis comparativo usando los precios cotizados para el proyecto a través de los diferentes indicadores encontrados.

Tabla 5 Análisis de costos

Proyecto A [1920 m ²]										
Indicadores	Precio por Kg		Precio por m ²		Total Presupuestado		Diferencia			
Indicador uado	5	Kg/m ²	1.3	Usd/Kg	6.5	Usd/m ²	12480.00	Usd	0.00	Usd
Indicador [Mediana]	4.74	Kg/m ²	1.3	Usd/Kg	6.162	Usd/m ²	11831.04	Usd	648.96	Usd
Indicador [Media]	4.78	Kg/m ²	1.3	Usd/Kg	6.214	Usd/m ²	11930.88	Usd	549.12	Usd
Indicador [Valor mas probable]	4.71	Kg/m ²	1.3	Usd/Kg	6.123	Usd/m ²	11756.16	Usd	723.84	Usd

2.6. Análisis de costos Proyecto A

En la tabla 5 se puede observar la diferencia en dólares por cada metro cuadrado con los diferentes indicadores a optar.

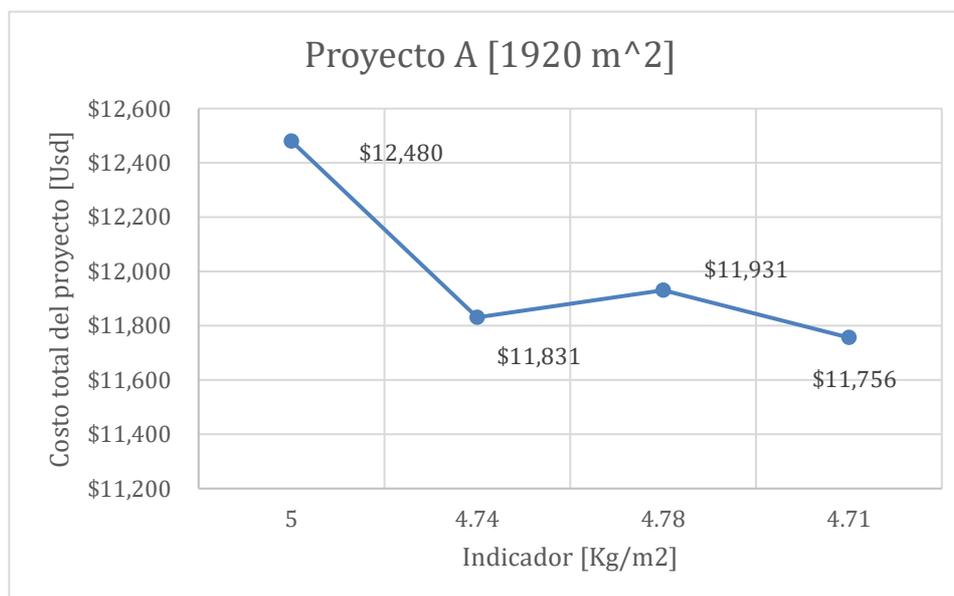


Ilustración 7: Comparativa de costos

Como se puede observar en la Ilustración 7 la densidad de acero con el cual se presupuestó el proyecto A no ha generado pérdida alguna, dado que el indicador de la cuantía de acero calculado como el valor más probable es menor al valor con el que se presupuestó

originalmente, esto le da a el proyecto A un margen en el cual poder moverse para futuros proyectos.

2.7. Resumen Proyecto A

A continuación, se presenta a manera de resumen las propiedades estadísticas de los datos, así como los parámetros calculados resumido.

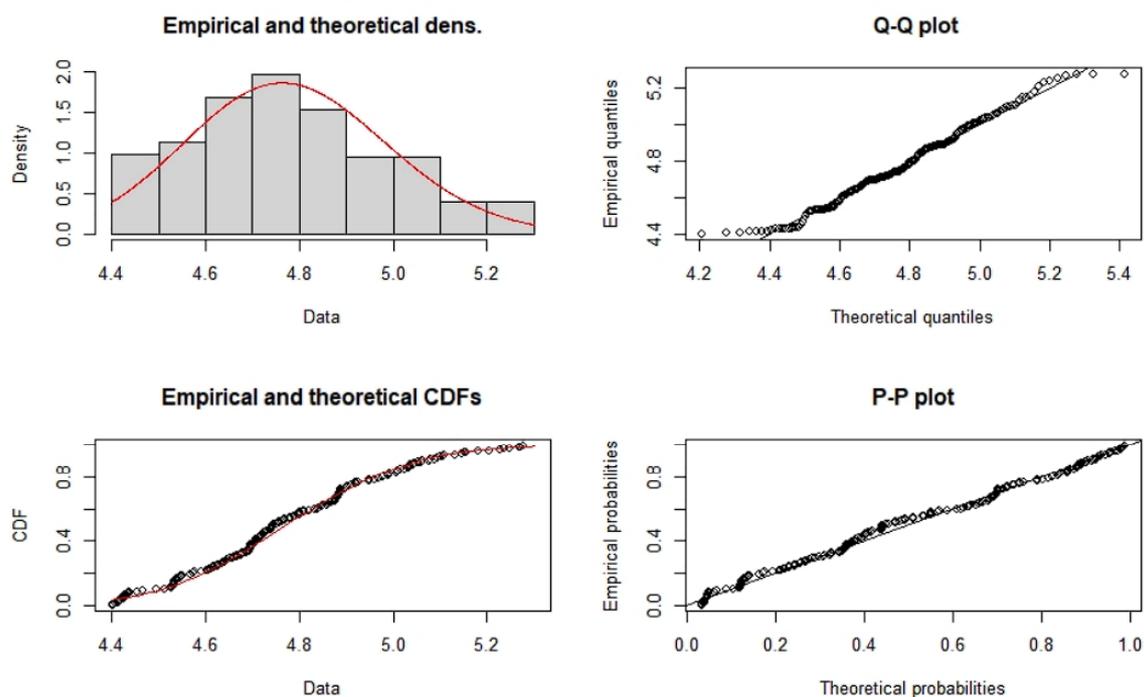


Ilustración 8 Summary Proyecto A

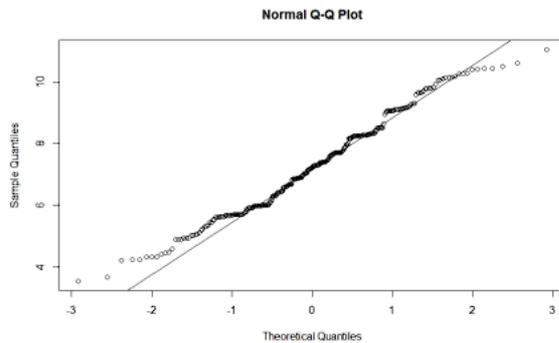
Tabla 6 Resumen Proyecto A

Min	4.403	
1st Qu.	4.627	
Median	4.745	
Mean	4.778	
3rd Qu.	4.912	
Max	5.279	
	Estimate	Std. Error
Meanlog	1.563	0.003
Sdlog	0.045	0.002
Loglikelihood	24.85703	
AIC	-45.71405	
BIC	-39.0975	

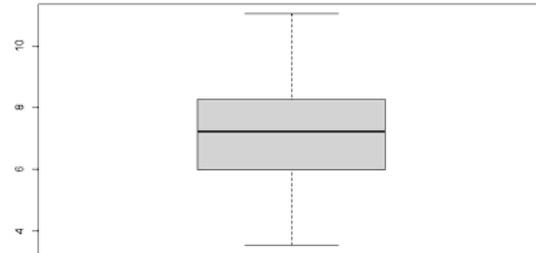
3. Proyecto B

3.1. Estadística descriptiva Proyecto B

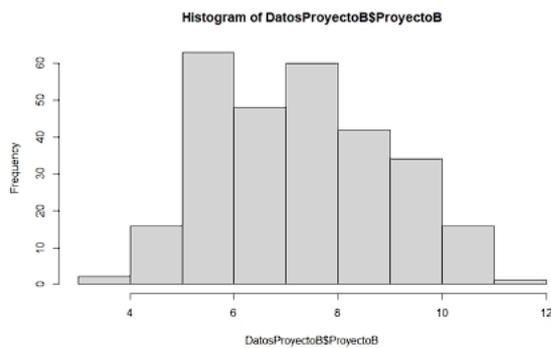
A continuación, se presenta un primer análisis de los datos del proyecto B.



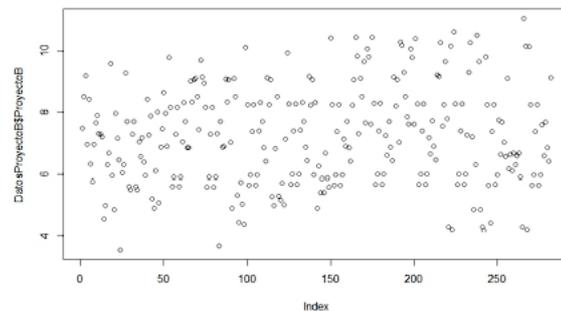
(a) Cuantiles Teóricos B



(b) Boxplot B



(c) Histograma B



(d) Datos B

Ilustración 9 Análisis estadístico descriptivo Proyecto B

Como se puede observar en la Ilustración 9 los datos del proyecto B no siguen una distribución normal al igual que los datos del Proyecto A, de hecho como se podrá apreciar al final del análisis ninguno de los proyectos presentan dicha distribución, esto debido a la presencia de paneles de diferente configuración geométrica dentro del mismo proyecto, por lo que se procede a comparar los datos con diferentes distribuciones, buscando la que mejor se acople a la distribución de los datos del Proyecto B

La Ilustración 9 presenta las características y comportamiento de los datos del Proyecto B, al igual que en el Proyecto A no existe presencia de valores atípicos, puesto los mismos fueron eliminados cuando se depuro la base de datos, se puede observar que el 25 % de los datos para el proyecto B se encuentran entre [5.8] y [7.2] y los datos que se encuentran más cerca de la mediana [7.229] se encuentran dentro de [7.229] y [8.274] por otra parte, tenemos una dispersión de datos que se sesga ligeramente a la derecha de la distribución como se puede observar en la Ilustración 9.d y 9.c

3.2. Ajuste de distribución proyecto B

	distribucion	df	AIC
1	m1gamma(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1056.648
2	m1invgauss(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1061.363
3	m1lnorm(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1061.507
4	m1weibull(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1065.411
5	m1betapr(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1067.644
6	m1invgamma(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1070.180
7	m1lgamma(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1070.605
8	m1invweibull(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1127.968
9	m1rayleigh(DatosProyectoB\$ProyectoB)	1	1331.666
10	m1exp(DatosProyectoB\$ProyectoB)	1	1683.070

(a) Comparación AIC

	distribucion	df	BIC
1	m1gamma(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1063.931
2	m1invgauss(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1068.647
3	m1lnorm(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1068.791
4	m1weibull(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1072.695
5	m1betapr(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1074.928
6	m1invgamma(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1077.463
7	m1lgamma(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1077.889
8	m1invweibull(DatosProyectoB\$ProyectoB)	2	1135.251
9	m1rayleigh(DatosProyectoB\$ProyectoB)	1	1335.308
10	m1exp(DatosProyectoB\$ProyectoB)	1	1686.712

(b) Comparacion BIC

Ilustración 10 Comparación distribuciones Proyecto B

Se seleccionan las distribuciones logarítmicas normal e inversa gaussiana para la comparación con la distribución propia de los datos del Proyecto B, el análisis BIC y AIC presentan a estas distribuciones como las propicias a ajustarse mejor a los datos.

El criterio de información de Akaike es una medida de la bondad de ajuste de un modelo estadístico. Se puede decir que describe la relación entre el sesgo y varianza en la construcción del modelo, o hablando de manera general acerca de la exactitud y complejidad del modelo. (Montesinos., 2011)

Al igual que para el proyecto A las dos distribuciones se ajustan de igual manera a los datos del Proyecto B, se selecciona la distribución logarítmica normal para los demás análisis.

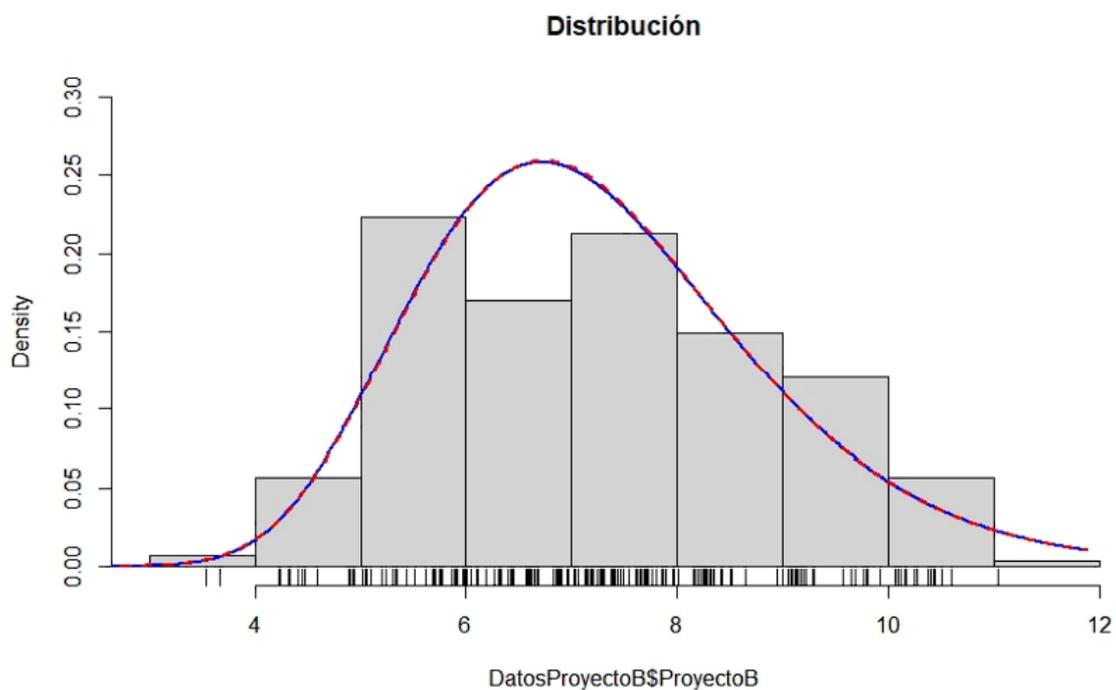


Ilustración 11 Distribución datos Proyecto B

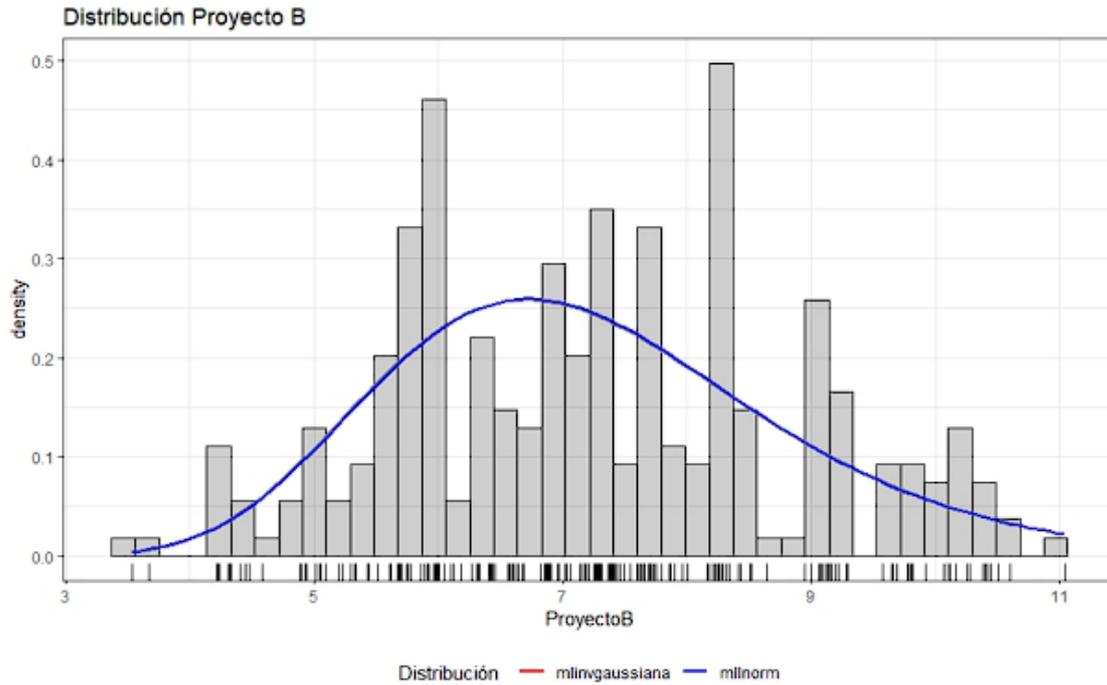
A continuación, se presentan los factores que definen la distribución que se acopla a los datos:

- Media aritmética del logaritmo [meanlog]

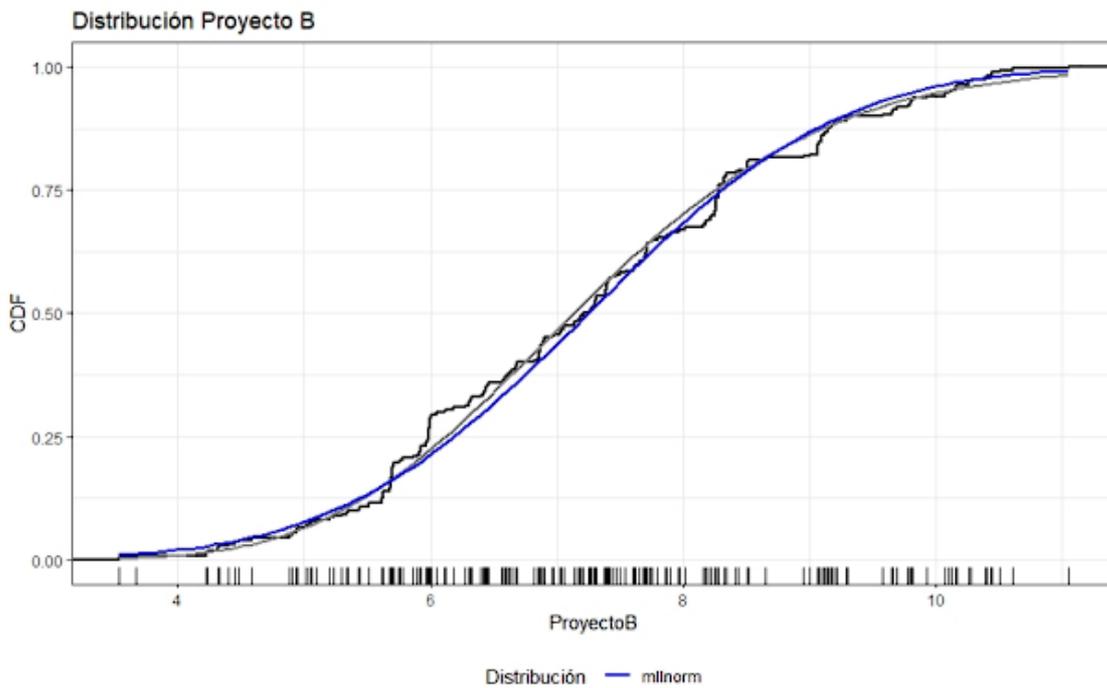
$$\text{Meanlog} = 1,9563628$$

- Desviación estándar del logaritmo [sdlog]

$$\text{Sdlog} = 0,2230658$$



(a) Representación distribución B, Density



(b) Representación distribución B, CDF

Ilustración 12 Representación distribuciones, CDF , Density Proyecto B

3.3. Valor de máxima verosimilitud e intervalos de confianza

$$\text{Log likelihood} = 24,85703$$

Tabla 7 Intervalos de confianza Proyecto B

Parametros	5%	50%	95%
Meanlog	1.934	1.956	1.979
Sdlog	0.207	0.222	0.237

3.4. Muestro de nuevos valores

A continuación, se simularán 5 nuevos valores de cuantía de acero para la distribución logarítmica normal, para los datos del Proyecto B.

Tabla 8 Nuevos valores Proyecto B

Nuevos Valores [Kg/m2]				
6.242	6.720	10.015	7.186	7.281

Como se puede observar los nuevos valores proporcionan un análisis de los valores probables de proyectos construidos con geometrías similares, esto representa una estimación de los nuevos indicadores del proyecto B.

3.5. Análisis probabilístico

A continuación, se presenta el análisis de probabilidades de la distribución de los datos del Proyecto B. Como se puede observar en la ilustración 13 la tendencia de la probabilidad sigue la misma distribución de los datos esto nos da una idea temprana de que el valor de la cuantía de acero tomado anteriormente no se aleja tanto de la realidad.

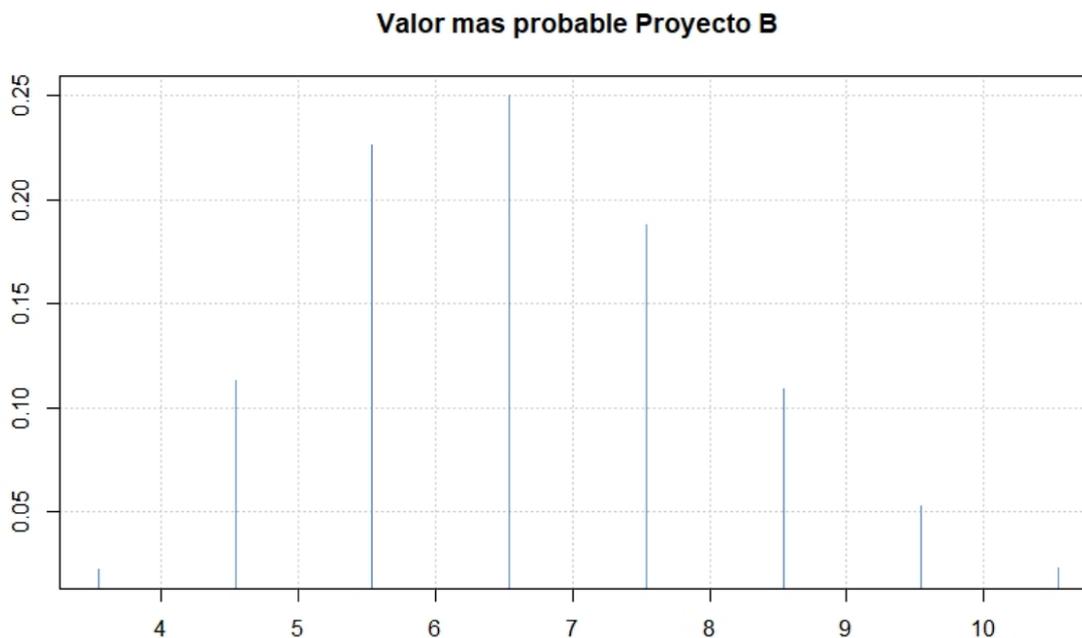


Ilustración 13 Muestreo de probabilidad Proyecto B

Como se puede observar el valor más probable para la densidad del acero se encuentra entre los valores de [6,0 Kg/m²] a [7,0 Kg/m²].

Tabla 9 Tabla de probabilidad Proyecto B

Probabilidad	Indicador	
2.24%	4.402851	Kg/m ²
11.32%	4.452851	Kg/m ²
22.59%	4.502851	Kg/m ²
25.01%	4.552851	Kg/m ²
18.82%	4.602851	Kg/m ²
10.92%	4.652851	Kg/m ²
5.31%	4.702851	Kg/m ²
2.28%	4.752851	Kg/m ²

A través de este análisis se propone el nuevo indicador de la cuantía de acero y se realiza un análisis comparativo usando los precios cotizados para el proyecto a través de los diferentes indicadores encontrados.

Tabla 10 Análisis de costos Proyecto B

Proyecto B [2177 m ²]										
Indicadores			Precio por Kg		Precio por m ²		Total Presupuestado		Diferencia	
Indicador uado	6	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	7.14	Usd/m ²	15543.78	Usd	0.00	Usd
Indicador [Mediana]	7.22	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	8.5918	Usd/m ²	18704.35	Usd	-3160.57	Usd
Indicador [Media]	7.24	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	8.6156	Usd/m ²	18756.16	Usd	-3212.38	Usd
Indicador [Valor mas probable]	6.55	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	7.7945	Usd/m ²	16968.63	Usd	-1424.85	Usd

En la tabla 10 se puede observar la diferencia en dólares por cada metro cuadrado con los diferentes indicadores a optar.

También se puede observar como a diferencia del anterior proyecto, este presenta valores de precio por unidad de metro negativos, esto se traduce luego a pérdidas en el proyecto.

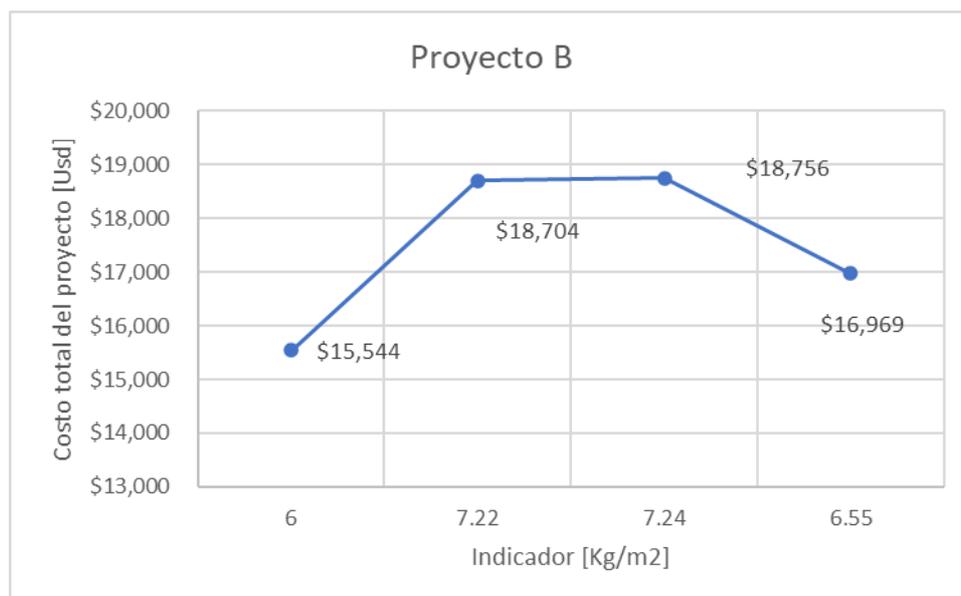


Ilustración 14 Comparativa de costos Proyecto B

Como se puede observar en la ilustración 14, el análisis de los datos del proyecto B presentan valores de cuantía de acero menores al hipotetizado en un principio, generando pérdidas en el proyecto.

3.6. Resumen Proyecto B

A continuación, se presenta a manera de resumen las propiedades estadísticas de los datos, así como los parámetros calculados resumidos.

En la ilustración 15 podemos observar cómo se ajustan las nuevas distribuciones a la distribución de los datos, esto nos permite entender de manera grafica como se están comportando los datos en comparación con las distribuciones comparadas.

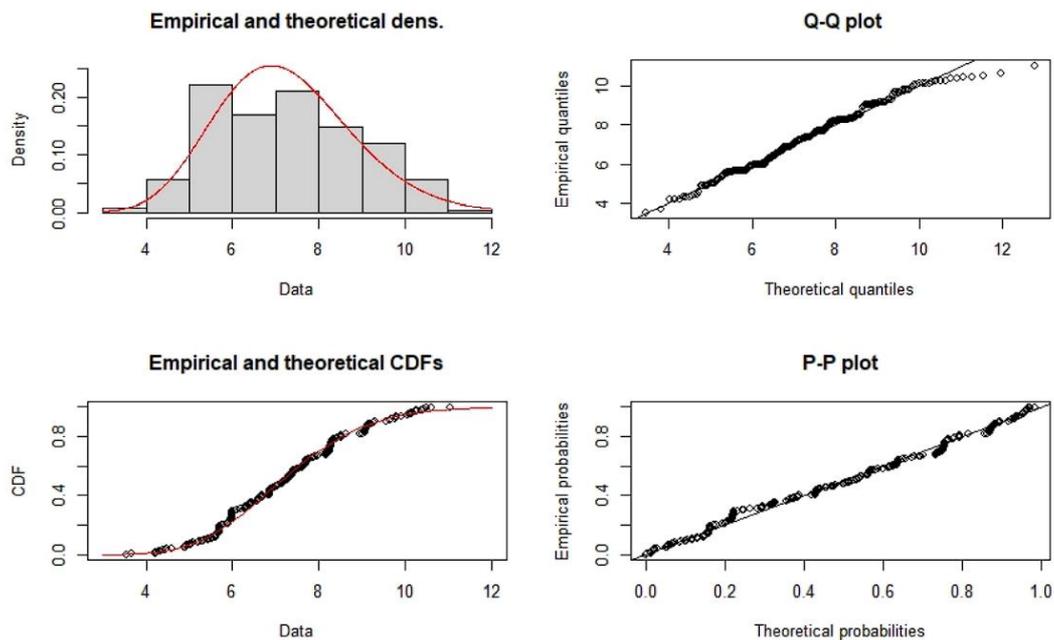


Ilustración 15 Resumen Proyecto B

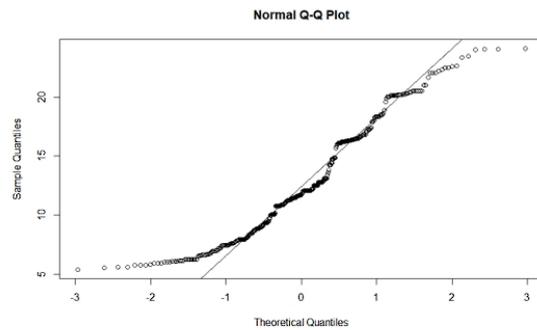
Min	3.539
1st Qu.	5.984
Median	7.229
Mean	7.247
3rd Qu.	8.274
Max	11.044
	Estimate Std. Error
Meanlog	1.956 0.0132
Sdlog	0.223 0.009
Loglikelihood	-528.75
AIC	1061.507
BIC	1068.791

Tabla 11 Resumen Proyecto B

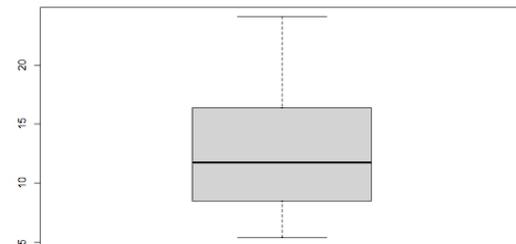
4. Proyecto C

4.1. Estadística Descriptiva Proyecto C

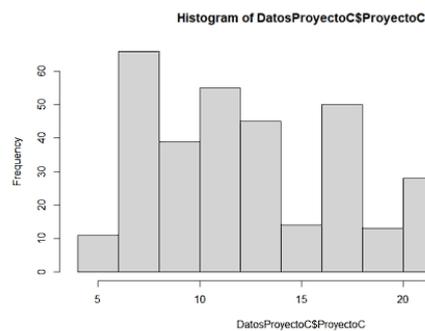
A continuación, se presenta un primer análisis de los datos del proyecto C.



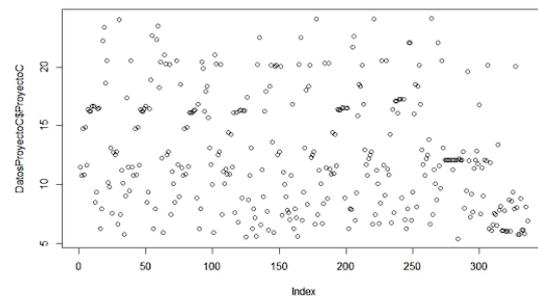
(a) Cuantiles Teóricos C



(b) Boxplot C



(c) Histograma C



(d) Datos C

Ilustración 16 Análisis estadístico descriptivo Proyecto B

Como se puede observar en la ilustración 16 a los datos no siguen una distribución normal, se procede a comparar los datos con diferentes distribuciones, buscando la que mejor se acople a la distribución de los datos.

La densidad de acero del Proyecto C presenta una magnitud bastante grande a comparación con los demás proyectos, esto debido a los paneles de geometría pequeña los cuales

poseen un área bastante baja, lo cual hace que la cuantía de acero se dispare al ser divisibles para el peso de los paneles de light Steel Framing.

La ilustración 16.b nos da una representación de las características principales de los datos, se puede observar que el 25 % de los datos para el proyecto C se encuentran entre [8.462] y [11.730] y los datos que se encuentran más cerca de la mediana [11.730] se encuentran dentro de [8.462] y [12.639] por otra parte, tenemos una dispersión de datos que se sesga a la derecha de la distribución como se puede observar en la ilustración 16.b y 16.c.

4.2. Ajuste de distribución proyecto C

	distribucion	df	AIC
1	m1invgauss(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1983.607
2	m1gamma(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1987.439
3	m1lnorm(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1987.451
4	m1lgamma(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1992.116
5	m1betapr(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1994.288
6	m1invgamma(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1995.502
7	m1weibull(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	2002.379
8	m1invweibull(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	2022.348
9	m1rayleigh(DatosProyectoC\$ProyectoC)	1	2057.139
10	m1exp(DatosProyectoC\$ProyectoC)	1	2378.745

(a) Comparación AIC

	distribucion	df	BIC
1	m1invgauss(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1991.241
2	m1gamma(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1995.074
3	m1lnorm(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1995.085
4	m1lgamma(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	1999.751
5	m1betapr(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	2001.922
6	m1invgamma(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	2003.136
7	m1weibull(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	2010.014
8	m1invweibull(DatosProyectoC\$ProyectoC)	2	2029.983
9	m1rayleigh(DatosProyectoC\$ProyectoC)	1	2060.956
10	m1exp(DatosProyectoC\$ProyectoC)	1	2382.562

(b) Comparacion BIC

Ilustración 17 Comparación distribuciones Proyecto C

A través del análisis AIC y BIC se seleccionan las distribuciones logarítmica-normal e inversa-gaussiana para la comparación con la distribución de los datos del Proyecto C.

Estas distribuciones se seleccionaron al ser las que más compatibilidad tiene con la distribución propia de los datos del proyecto C.

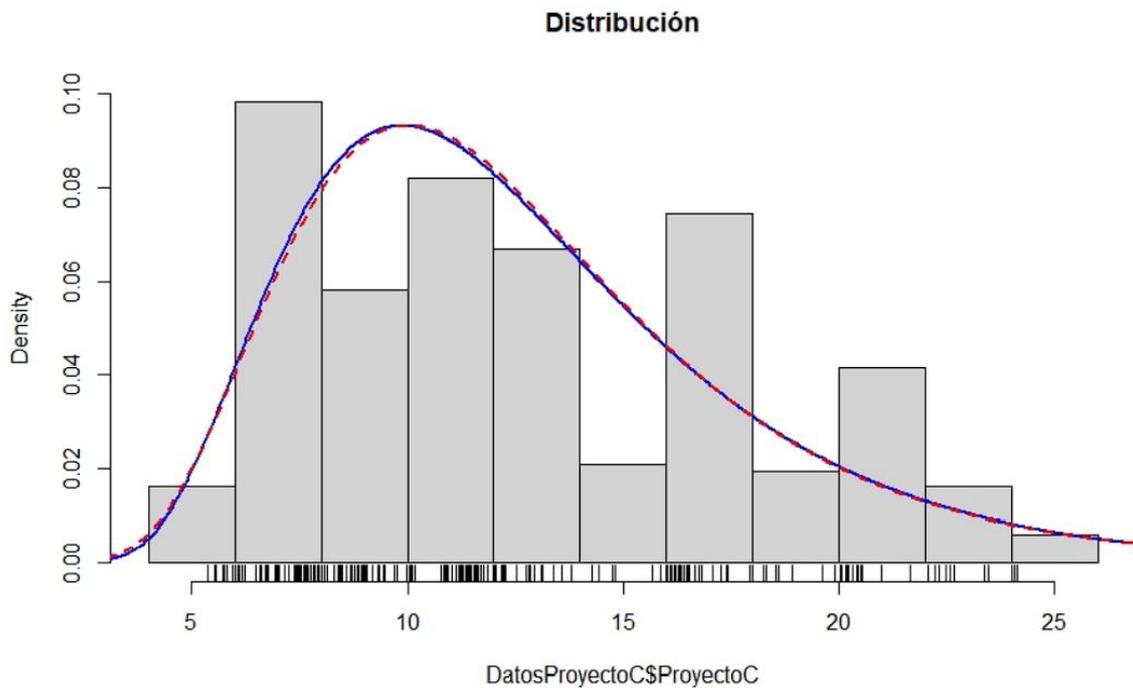


Ilustración 18 Distribución datos Proyecto C

Se puede observar que ambas distribuciones se acoplan bastante bien a los datos, en este estudio se selecciona la distribución logarítmica normal para los demás análisis.

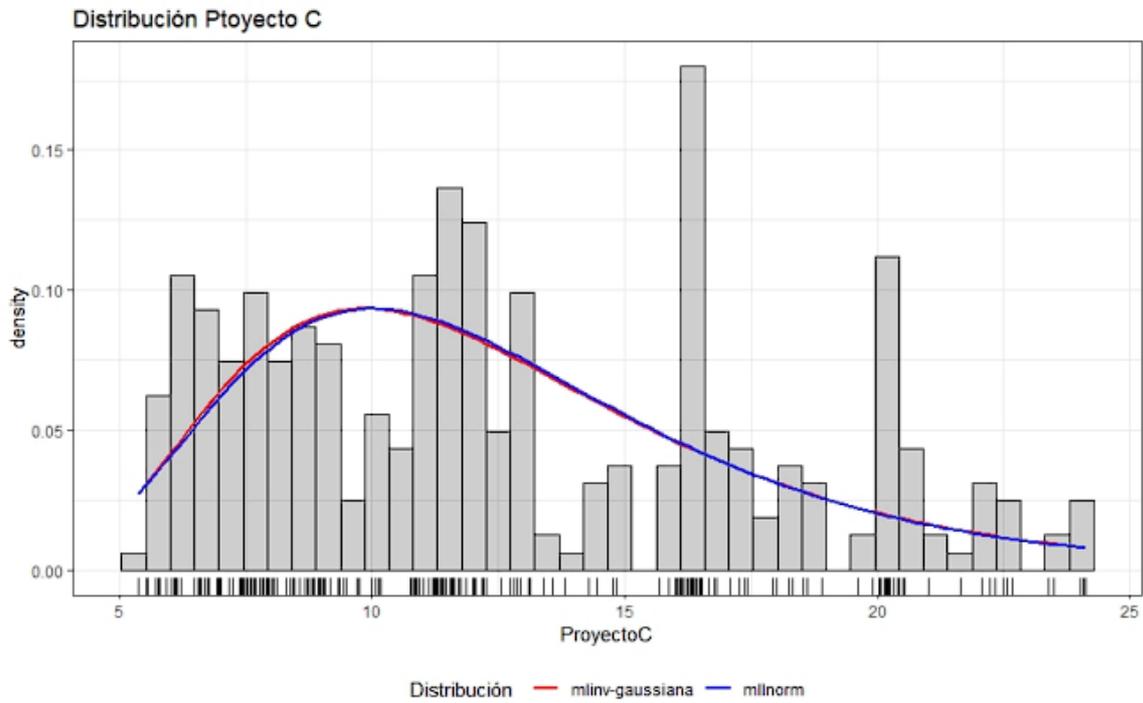
La distribución logarítmica normal se define a través de dos factores o parámetros:

- Media aritmética del logaritmo [meanlog]

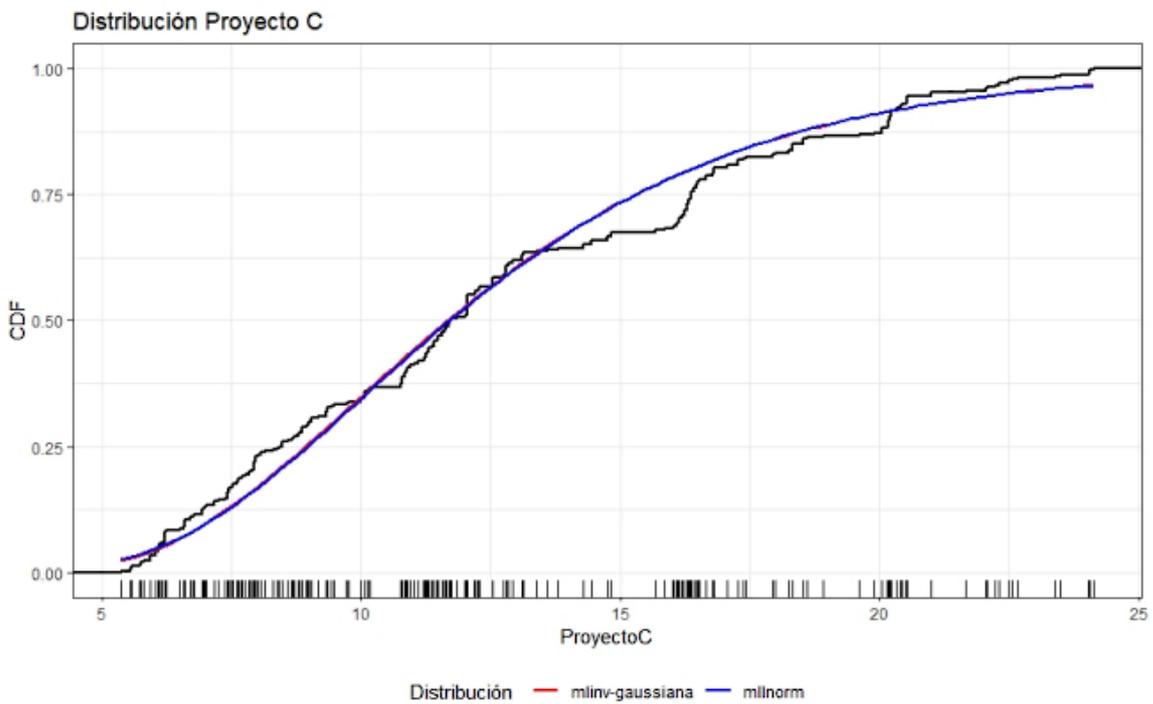
$$Meanlog = 2,4606106$$

- Desviación estándar del logaritmo [sdlog]

$$Sdlog = 0,3953492$$



(a) Representación distribución C, Density



(b) Representación distribución C, CDF

4.3. Valor de máxima verosimilitud e intervalos de confianza

$$\text{Log likelihood} = -991.7253$$

Parametros	5%	50%	95%
Meanlog	2.423	2.460	2.497
Sdlog	0.369	0.394	0.420

Tabla 12 Intervalos de confianza

4.4. Muestreo de nuevos valores

A continuación, se simularán 5 nuevos valores del indicador para la distribución logarítmica normal.

Nuevos Valores [Kg/m ²]				
9.384	10.693	21.690	12.043	12.326

Tabla 13 Muestreo de nuevos valores Proyecto C

Como se puede observar los nuevos valores proporcionan un análisis de los valores probables de proyectos construidos con geometrías similares, esto representa una estimación de los nuevos indicadores del proyecto.

4.5. Análisis probabilista

A continuación, se presenta el análisis de probabilidades de la distribución de los datos del Proyecto C.

Como se puede observar el valor más probable para el indicador se encuentra entre los valores de [9 Kg/m²] a [10 Kg/m²]. A través de este análisis se propone el nuevo indicador y se realiza un análisis comparativo usando los precios cotizados para el proyecto a través de los diferentes indicadores encontrados.

Valor mas probable Proyecto B

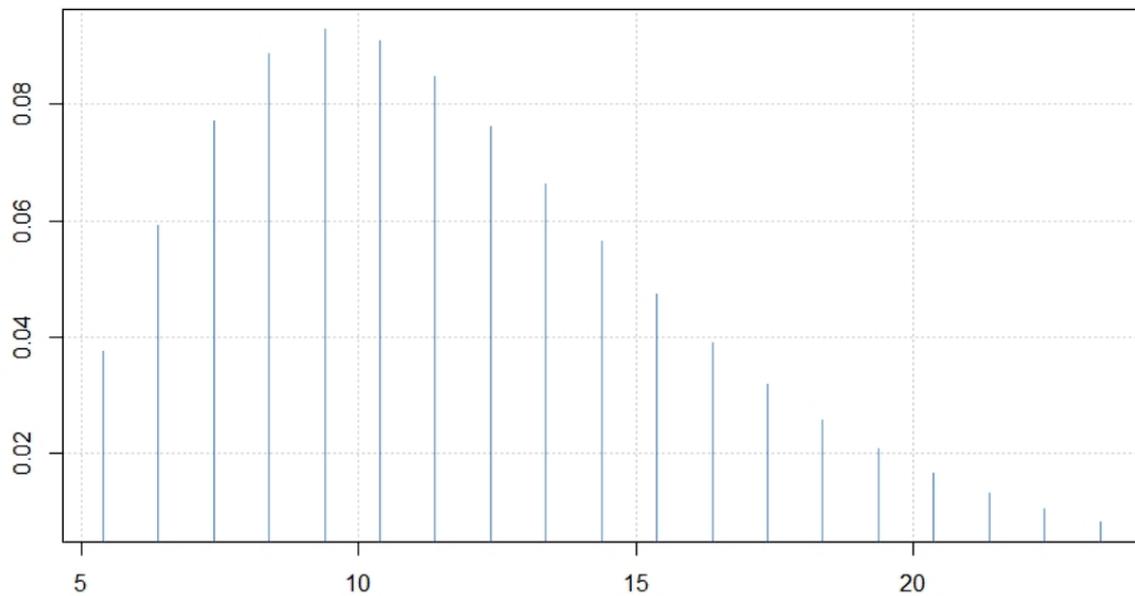


Ilustración 19 Muestreo de probabilidad Proyecto C

Tabla 14 Tabla de probabilidad Proyecto C

Probabilidad	Indicador	
3.77%	5.380416	Kg/m ²
5.92%	6.380416	Kg/m ²
7.72%	7.380416	Kg/m ²
8.86%	8.380416	Kg/m ²
9.28%	9.380416	Kg/m ²
9.10%	10.380416	Kg/m ²
8.48%	11.380416	Kg/m ²
7.61%	12.380416	Kg/m ²
6.63%	13.380416	Kg/m ²
5.65%	14.380416	Kg/m ²
4.73%	15.380416	Kg/m ²
3.90%	16.380416	Kg/m ²
3.19%	17.380416	Kg/m ²
2.58%	18.380416	Kg/m ²
2.08%	19.380416	Kg/m ²
1.66%	20.380416	Kg/m ²
1.32%	21.380416	Kg/m ²
1.05%	22.380416	Kg/m ²
0.83%	23.380416	Kg/m ²

4.6. Análisis de costos Proyecto C

Tabla 15 Análisis de costos Proyecto C

Proyecto C [2179 m ²]										
Indicadores			Precio por Kg		Precio por m ²		Total Presupuestado		Diferencia	
Indicador uado	7	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	8.33	Usd/m ²	15993.60	Usd	0.00	Usd
Indicador [Mediana]	11.7	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	13.923	Usd/m ²	26732.16	Usd	-10738.56	Usd
Indicador [Media]	12.6	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	14.994	Usd/m ²	28788.48	Usd	-12794.88	Usd
Indicador [Valor mas probable]	9.38	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	11.1622	Usd/m ²	21431.42	Usd	-5437.82	Usd

En la tabla 15 se puede observar la diferencia en dólares por cada metro cuadrado con los diferentes indicadores a optar.

También se puede observar como a diferencia del anterior proyecto, este presenta valores de precio por unidad de metro negativos, esto se traduce luego a perdidas en el proyecto.

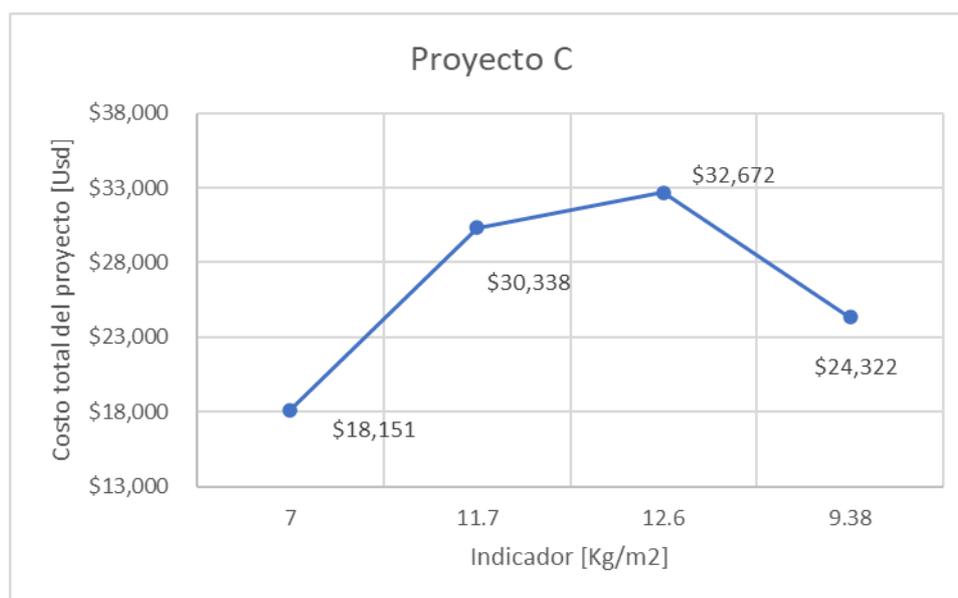


Ilustración 20 Comparativa de costos

Como se puede observar en la figura 5.20, el análisis de los datos del proyecto B presentan valores de indicadores menores al hipotetizado en un principio, generando perdidas en el proyecto.

4.7. Resumen Proyecto C

A continuación, se presenta a manera de resumen las propiedades estadísticas de los datos, así como los parámetros calculados resumidos.

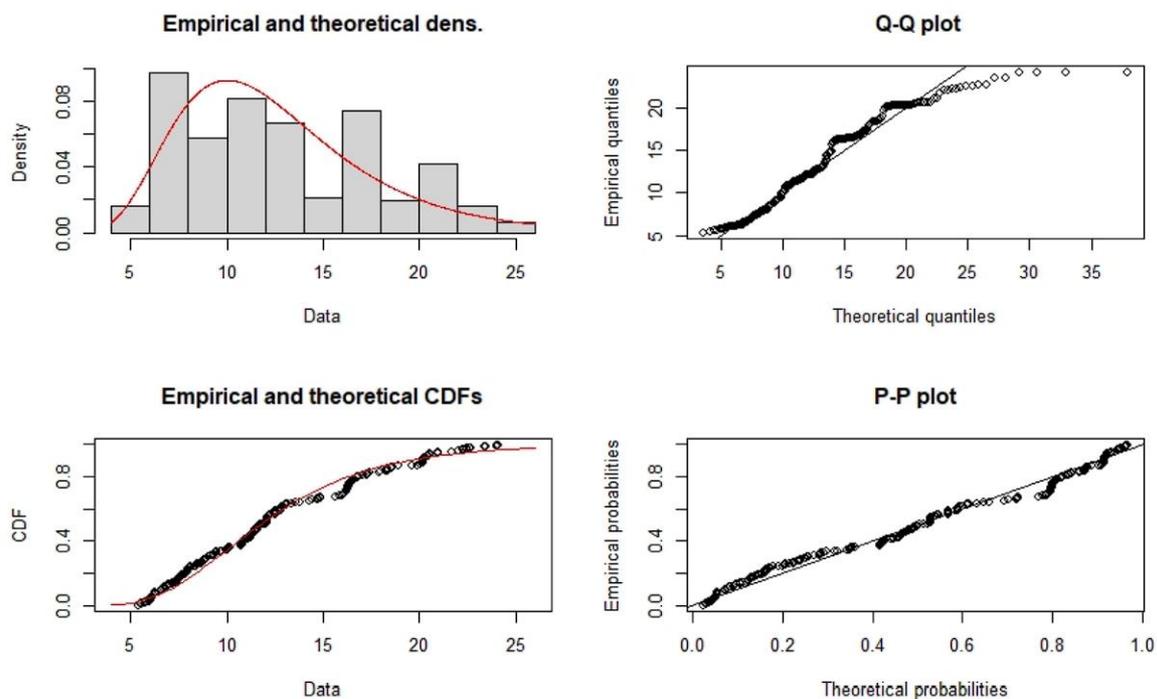


Ilustración 21 Resumen Proyecto C

Min	5.38	
1st Qu.	8.462	
Median	11.73	
Mean	12.639	
3rd Qu.	16.361	
Max	24.128	
	Estimate	Std. Error
Meanlog	2.46	0.021
Sdlog	0.395	0.0152
Loglikelihood	-991.7253	
AIC	1987.451	
BIC	1995.085	

Tabla 16 Resumen Proyecto C

CONCLUSIONES

Los proyectos analizados han demostrado que a pesar de la diferencia geométrica de los paneles de Light Steel Framing todas siguen un comportamiento de una distribución logarítmica normal, por lo que se podría extrapolar a que las demás construcciones ya sean de geometrías similares o no tenderán a generar distribuciones de la forma logarítmica normal.

Trabajando con la distribución logarítmica normal encontramos nuevos indicadores para los proyectos analizados, estos si bien no se alejan demasiado del indicador hipotetizado, generan un margen de ganancia o pérdida para la empresa.

A continuación, se resume el costo de los diferentes proyectos con los diferentes indicadores planteados:

Tabla 17 Resumen costos por proyecto

Proyecto A [1920 m ²]										
Indicadores	Precio por Kg			Precio por m ²		Total Presupuestado		Diferencia		
Indicador usado	5	Kg/m ²	1.3	Usd/Kg	6.5	Usd/m ²	12480.00	Usd	0.00	Usd
Indicador [Mediana]	4.74	Kg/m ²	1.3	Usd/Kg	6.162	Usd/m ²	11831.04	Usd	648.96	Usd
Indicador [Media]	4.78	Kg/m ²	1.3	Usd/Kg	6.214	Usd/m ²	11930.88	Usd	549.12	Usd
Indicador [Valor mas probable]	4.71	Kg/m ²	1.3	Usd/Kg	6.123	Usd/m ²	11756.16	Usd	723.84	Usd
Proyecto B [2177 m ²]										
Indicadores	Precio por Kg			Precio por m ²		Total Presupuestado		Diferencia		
Indicador usado	6	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	7.14	Usd/m ²	15543.78	Usd	0.00	Usd
Indicador [Mediana]	7.22	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	8.5918	Usd/m ²	18704.35	Usd	-3160.57	Usd
Indicador [Media]	7.24	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	8.6156	Usd/m ²	18756.16	Usd	-3212.38	Usd
Indicador [Valor mas probable]	6.55	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	7.7945	Usd/m ²	16968.63	Usd	-1424.85	Usd
Proyecto C [2179 m ²]										
Indicadores	Precio por Kg			Precio por m ²		Total Presupuestado		Diferencia		
Indicador usado	7	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	8.33	Usd/m ²	15993.60	Usd	0.00	Usd
Indicador [Mediana]	11.7	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	13.923	Usd/m ²	26732.16	Usd	-10738.56	Usd
Indicador [Media]	12.6	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	14.994	Usd/m ²	28788.48	Usd	-12794.88	Usd
Indicador [Valor mas probable]	9.38	Kg/m ²	1.19	Usd/Kg	11.1622	Usd/m ²	21431.42	Usd	-5437.82	Usd

A continuación, se puede observar una grafica comparativa de los precios para cada cuantía de acero para los proyectos analizados. Como se puede observar, las perdidas en los proyectos B y C son compensadas por las ganancias en el proyecto A, para solventar este problema se presentan varios indicadores de cuantía de acero a ser usados para el análisis de precios unitarios de proyectos futuros de características similares a los proyectos analizados.

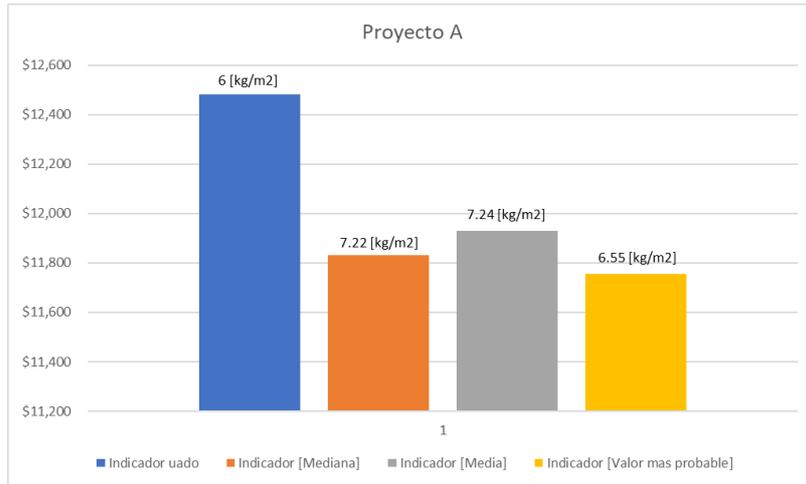


Ilustración 22 Costos Proyecto A para los diferentes valores de cuantía de acero

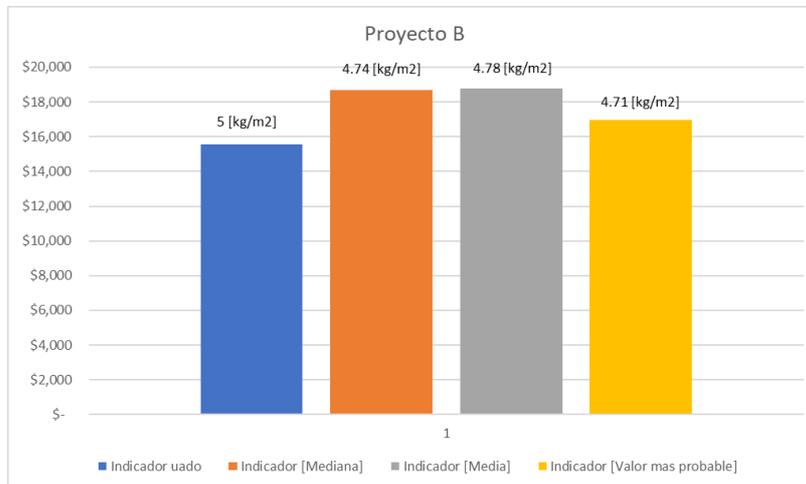


Ilustración 23 Costos Proyecto B para los diferentes valores de cuantía de acero

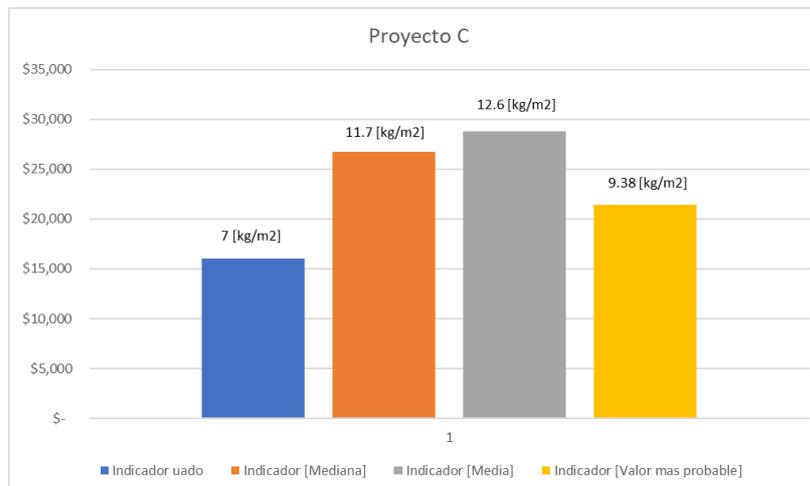


Ilustración 24 Costos Proyecto C para los diferentes valores de cuantía de acero

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Fisher. (1935). *Statistical Methods for Research Workers*. Chicago: Enlarged.
- Montesinos., A. (2011). *Estudio del AIC y BIC en la seleccion de modelos de vida con datos censurados*. AC: Centro de investigacion en Matematicas.
- Pino, J. T. (1999). *Fiabilidad: la distribuci´on lognormal*. MDYE: Tesis.
- Poitevin, G. M. (20212, 04 23). *Bootstrapping en estad´istica*. Retrieved from Estadistic:
<https://guinguette-maraispoitevin.com/>