

BatFlightAnalysis

Paquetes

```
In [1]: import pandas as pd
import numpy as np
import os

import matplotlib.pyplot as plt

import statsmodels.api as sm
import statsmodels.formula.api as smf

from scipy.stats import shapiro

from BatFlightAnalysis import read_data, split_data
```

```
In [2]: import warnings

warnings.filterwarnings("ignore")
```

Funciones

```
In [3]: def curvatura(df):
    # Convertir a arrays de numpy
    x = np.array(df['x'])
    y = np.array(df['y'])
    z = np.array(df['z'])

    # Calcular las derivadas usando diferencias finitas
    dx = np.gradient(x)
    dy = np.gradient(y)
    dz = np.gradient(z)

    ddx = np.gradient(dx)
    ddy = np.gradient(dy)
    ddz = np.gradient(dz)

    # Calcular la curvatura
    curvatura = np.zeros(len(x))

    for i in range(len(x)):
        # Vectores de la primera y segunda derivada
        r_prime = np.array([dx[i], dy[i], dz[i]])
        r_double_prime = np.array([ddx[i], ddy[i], ddz[i]])

        # Producto cruzado de r' y r''
        cross_product = np.cross(r_prime, r_double_prime)

        # Magnitud de r'
        norm_r_prime = np.linalg.norm(r_prime)

        # Curvatura
        curvatura[i] = np.linalg.norm(cross_product) / (norm_r_prime**3)

    # Desviación Estándar de La curvatura
```

```

std_curvatura = np.std(curvatura)

# Media de La curvatura
mean_curvatura = np.mean(curvatura)

# Integral de La curvatura
integral_curvatura = np.trapz(curvatura)

return mean_curvatura, std_curvatura, integral_curvatura

def velocidad(df):
    # Convertir a arrays de numpy
    x = np.array(df['x'])
    y = np.array(df['y'])
    z = np.array(df['z'])

    # Calcular Las derivadas usando diferencias finitas
    dx = np.gradient(x)
    dy = np.gradient(y)
    dz = np.gradient(z)

    # Calcular La magnitud de La velocidad en cada punto
    velocidad = np.zeros(len(x))
    for i in range(len(x)):
        r_prime = np.array([dx[i], dy[i], dz[i]])
        velocidad[i] = np.linalg.norm(r_prime)

    # Desviación Estándar de La velocidad
    std_velocidad = np.std(velocidad)

    # Media de La velocidad
    mean_velocidad = np.mean(velocidad)

    # Integral de La velocidad
    integral_velocidad = np.trapz(velocidad)

    return mean_velocidad, std_velocidad, integral_velocidad

def torsion(df):
    # Convertir a arrays de numpy
    x = np.array(df['x'])
    y = np.array(df['y'])
    z = np.array(df['z'])

    # Calcular Las derivadas usando diferencias finitas
    dx = np.gradient(x)
    dy = np.gradient(y)
    dz = np.gradient(z)

    ddx = np.gradient(dx)
    ddy = np.gradient(dy)
    ddz = np.gradient(dz)

    dddx = np.gradient(ddx)
    dddy = np.gradient(ddy)
    dddz = np.gradient(ddz)

    # Calcular La torsión en cada punto
    torsion = np.zeros(len(x))
    for i in range(len(x)):
        r_prime = np.array([dx[i], dy[i], dz[i]])
        r_double_prime = np.array([ddx[i], ddy[i], ddz[i]])
        r_triple_prime = np.array([dddx[i], dddy[i], dddz[i]])

```

```

    # Producto cruzado de r' y r''
    cross_product = np.cross(r_prime, r_double_prime)

    # Torsión
    norm_cross_product = np.linalg.norm(cross_product)
    torsion[i] = np.dot(cross_product, r_triple_prime) / (norm_cross_product**2)

    # Desviación Estándar de la torsión
    std_torsion = np.std(torsion)

    # Media de la torsión
    mean_torsion = np.mean(torsion)

    # Integral de la torsión
    integral_torsion = np.trapz(torsion)

    return mean_torsion, std_torsion, integral_torsion

```

```

In [4]: def longitud(df):
    # Convertir a arrays de numpy
    x = np.array(df['x'])
    y = np.array(df['y'])
    z = np.array(df['z'])

    # Longitud de la trayectoria
    longitud = np.zeros(len(x))

    for i in range(1, len(x)):
        longitud[i] = longitud[i-1] + np.sqrt((x[i] - x[i-1])**2 + (y[i] - y[i-1])**2 + (z[i] - z[i-1])**2)

    # Longitud total
    longitud_total = longitud[-1]

    return longitud_total

```

```

In [5]: def var_espacial(df):
    # Convertir a arrays de numpy
    x = np.array(df['x'])
    y = np.array(df['y'])
    z = np.array(df['z'])

    longitud_x = np.max(x) - np.min(x)
    longitud_y = np.max(y) - np.min(y)
    longitud_z = np.max(z) - np.min(z)

    volumen = longitud_x * longitud_y * longitud_z

    return longitud_x, longitud_y, longitud_z, volumen

```

```

In [6]: def hist_plots(whiskers_data, no_whiskers_data, metric):
    print(f"Histograms for {metric}:")
    # Perform normality check for "whiskers" and "no whiskers" groups and plot histograms
    fig, axes = plt.subplots(1, 2, figsize=(12, 4))

    # Histogram for 'whiskers'
    axes[0].hist(whiskers_data[metric], bins=15, edgecolor='black', alpha=0.7)
    axes[0].set_title(f'Histogram of {metric} (Whiskers)')

    # Histogram for 'no whiskers'
    axes[1].hist(no_whiskers_data[metric], bins=15, edgecolor='black', alpha=0.7)
    axes[1].set_title(f'Histogram of {metric} (No Whiskers)')

```

```
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Manejo de datos

```
In [7]: # Lectura de Los datos
data_bef, data_fee, data_aft = read_data('data/output_points_1_no_whiskers.xlsx')

# Split data into flower and bat data; before, during, and after feeding
flower_bef, flower_fee, flower_aft, bat_bef, bat_fee, bat_aft = split_data(data_bef, data_fee, data_aft)

# Show the data
print(flower_fee.head())
```

	x	y	z
9	281	94	349.0
10	283	98	345.0
11	283	100	341.0
12	283	103	338.0
13	288	103	336.0

```
In [8]: individuo, whiskers, n_vuelo = [], [], []
mean_velocidad, std_velocidad, int_velocidad = [], [], []
mean_curvatura, std_curvatura, int_curvatura = [], [], []
mean_torsion, std_torsion, int_torsion = [], [], []
longitud_total = []
longitud_x, longitud_y, longitud_z, volumen = [], [], [], []

for n in range(6,10):
    # for tipo in ["Whiskers"]:
    for tipo in ["Whiskers", "No whiskers"]:
        # Recorro lo archivos de la capeta Individuo n
        for file in os.listdir(f'data/Individuo {n}/{tipo}'):
            # print("Procesando:", f"Individuo {n}/{tipo}/{file}")

            try:
                data_bef, data_fee, data_aft = read_data(f'data/Individuo {n}/{tipo}/{file}.xlsx')

                # Split data into flower and bat data; before, during, and after feeding
                flower_bef, flower_fee, flower_aft, bat_bef, bat_fee, bat_aft = split_data(data_bef, data_fee, data_aft)

                # Velocidad
                mean_vel, std_vel, int_vel = velocidad(flower_fee)
                mean_velocidad.append(mean_vel)
                std_velocidad.append(std_vel)
                int_velocidad.append(int_vel)

                # Curvatura
                mean_curv, std_curv, int_curv = curvatura(flower_fee)
                mean_curvatura.append(mean_curv)
                std_curvatura.append(std_curv)
                int_curvatura.append(int_curv)

                # Torsión
                mean_tor, std_tor, int_tor = torsion(flower_fee)
                mean_torsion.append(mean_tor)
                std_torsion.append(std_tor)
                int_torsion.append(int_tor)

                # Longitud total
                long = longitud(flower_fee)
                longitud_total.append(long)
```

```

# Variación en cada eje
long_x, long_y, long_z, vol = var_espacial(flower_fee)
longitud_x.append(long_x)
longitud_y.append(long_y)
longitud_z.append(long_z)
volumen.append(vol)

individuo.append(n)
whiskers.append(tipo)
n_vuelo.append(file.split('_')[-1].split('.')[0])
except:
    print("Error en el archivo:", f"Individuo {n}/{tipo}/{file}")

# Creo el conjunto de datos
df = pd.DataFrame({
    'Individuo': individuo,
    'Tipo': whiskers,
    'No. Vuelo': n_vuelo,
    'Velocidad Media': mean_velocidad,
    'Desviación Estándar de la Velocidad': std_velocidad,
    'Integral de la Velocidad': int_velocidad,
    'Curvatura Media': mean_curvatura,
    'Desviación Estándar de la Curvatura': std_curvatura,
    'Integral de la Curvatura': int_curvatura,
    'Torsión Media': mean_torsion,
    'Desviación Estándar de la Torsión': std_torsion,
    'Integral de la Torsión': int_torsion,
    'Longitud Total': longitud_total,
    'Longitud en X': longitud_x,
    'Longitud en Y': longitud_y,
    'Longitud en Z': longitud_z,
    'Volumen': volumen
})

# Muestro los datos
display(df.head())

```

Error en el archivo: Individuo 6/No whiskers/output_points_7.xlsx

	Individuo	Tipo	No. Vuelo	Velocidad Media	Desviación Estándar de la Velocidad	Integral de la Velocidad	Curvatura Media	Desviación Estándar de la Curvatura	Integral de la Curvatura
0	6	Whiskers	1	3.685155	2.469856	62.346961	0.319137	0.309382	5.33312
1	6	Whiskers	10	8.442801	5.213999	244.123139	0.061655	0.072966	1.75642
2	6	Whiskers	11	3.832310	2.993198	62.419556	1.097282	3.454947	19.66502
3	6	Whiskers	12	7.883429	3.940560	124.664154	0.128108	0.231968	2.12949
4	6	Whiskers	13	3.654315	2.337232	47.331496	0.255117	0.302641	3.78556

```

In [9]: # Guardo los datos
df.to_excel('data/mediciones.xlsx', index=False)

```

Análisis comparativo

```

In [10]: # Leo el archivo de datos
data = pd.read_excel('data/mediciones.xlsx')

```

```
display(data.head())
```

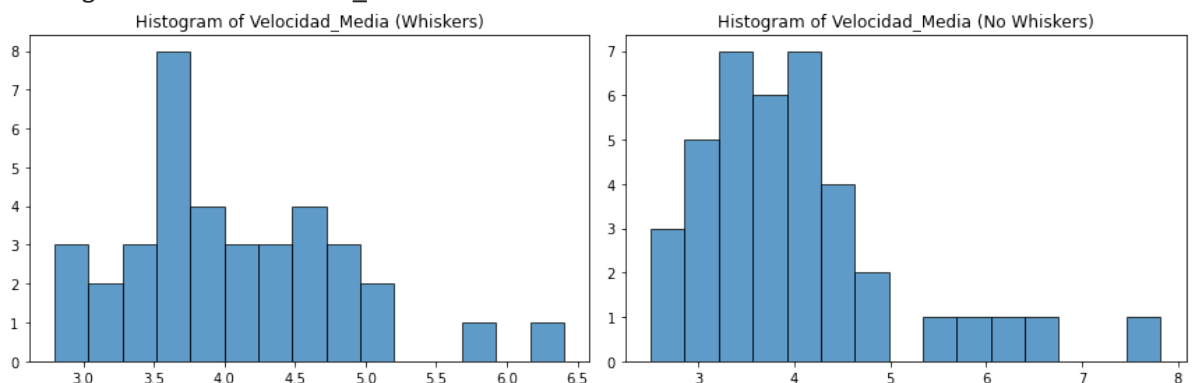
	Individuo	Tipo	No. Vuelo	Velocidad Media	Desviación Estándar de la Velocidad	Integral de la Velocidad	Curvatura Media	Desviación Estándar de la Curvatura	Integral de la Curvatura
0	6	Whiskers	1	3.685155	2.469856	62.346961	0.319137	0.309382	5.33312
1	6	Whiskers	10	8.442801	5.213999	244.123139	0.061655	0.072966	1.75642
2	6	Whiskers	11	3.832310	2.993198	62.419556	1.097282	3.454947	19.66502
3	6	Whiskers	12	7.883429	3.940560	124.664154	0.128108	0.231968	2.12949
4	6	Whiskers	13	3.654315	2.337232	47.331496	0.255117	0.302641	3.78556

```
In [11]: metrics = ['Velocidad Media', 'Desviación Estándar de la Velocidad', 'Integral de la Velocidad',  
                  'Curvatura Media', 'Desviación Estándar de la Curvatura', 'Integral de la Curvatura',  
                  'Torsión Media', 'Desviación Estándar de la Torsión', 'Integral de la Torsión',  
                  'Longitud Total', 'Longitud en X', 'Longitud en Y', 'Longitud en Z', 'Velocidad Máxima']  
  
data.columns = data.columns.str.replace(" ", "_")  
metrics = [metric.replace(" ", "_") for metric in metrics]
```

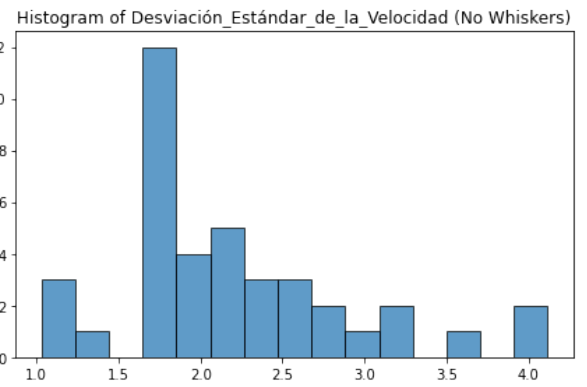
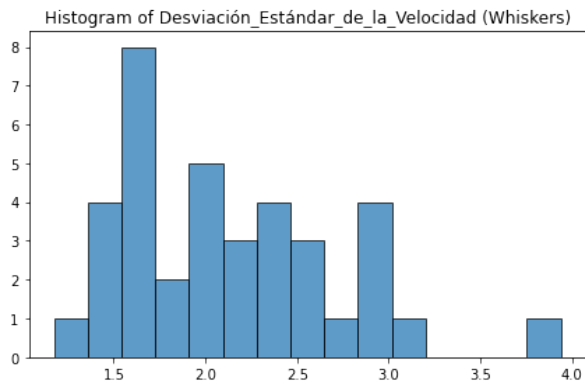
Análisis con pedicelo Estable

```
In [12]: # Data estables, número de vuelo impares  
data_estable = data[data['No._Vuelo'].astype(int) % 2 == 1]  
  
# Separate data based on "Tipo" (whiskers or no whiskers)  
whiskers_data = data_estable[data_estable['Tipo'] == 'Whiskers']  
no_whiskers_data = data_estable[data_estable['Tipo'] == 'No whiskers']  
  
for metric in metrics:  
    hist_plots(whiskers_data, no_whiskers_data, metric)
```

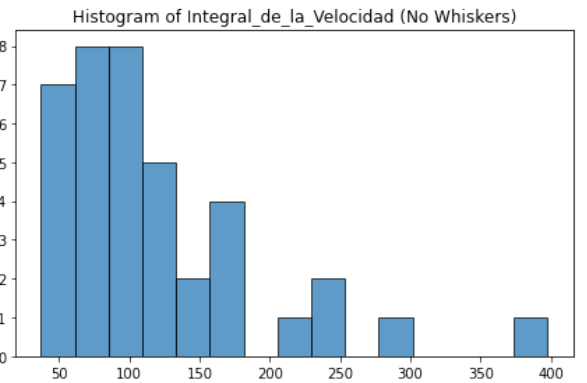
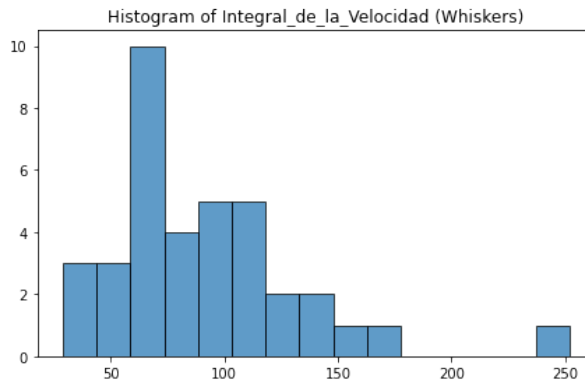
Histograms for Velocidad_Media:



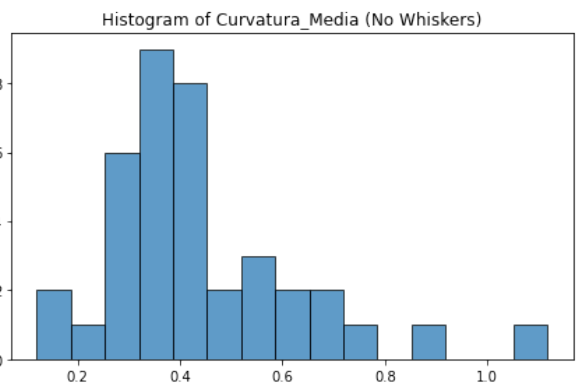
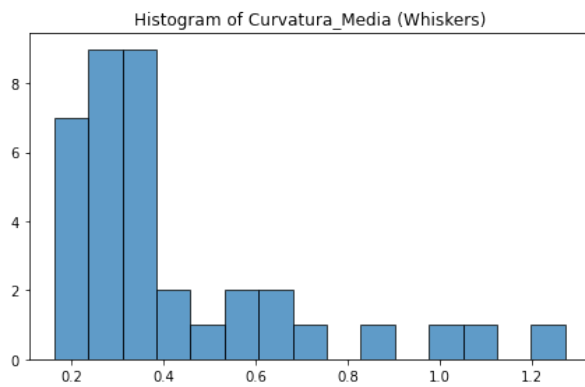
Histograms for Desviación_Estándar_de_la_Velocidad:



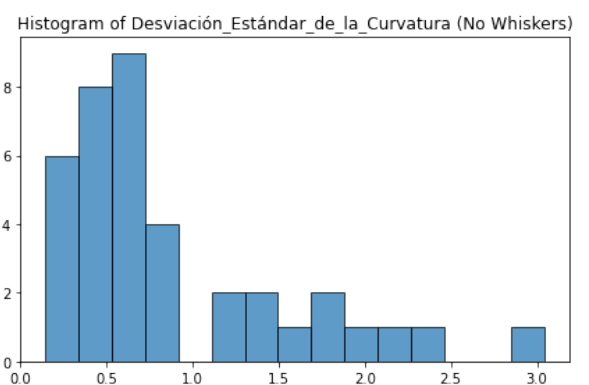
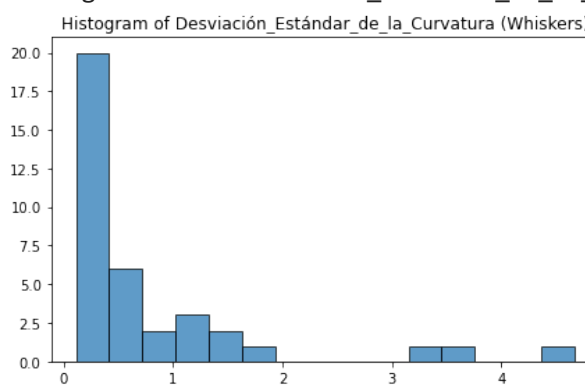
Histograms for Integral de la Velocidad:



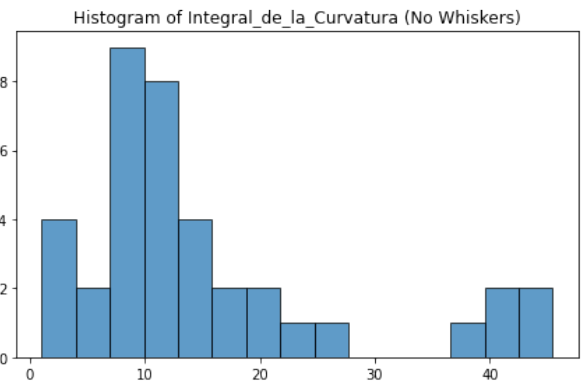
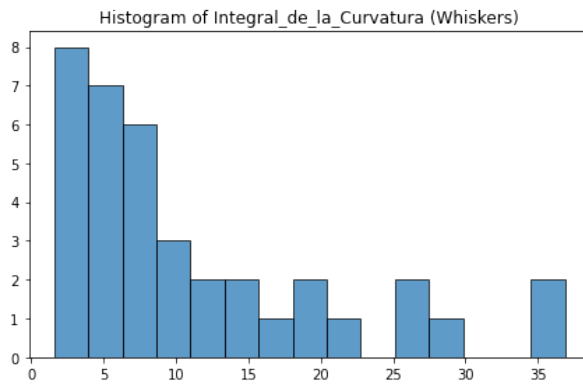
Histograms for Curvatura_Media:



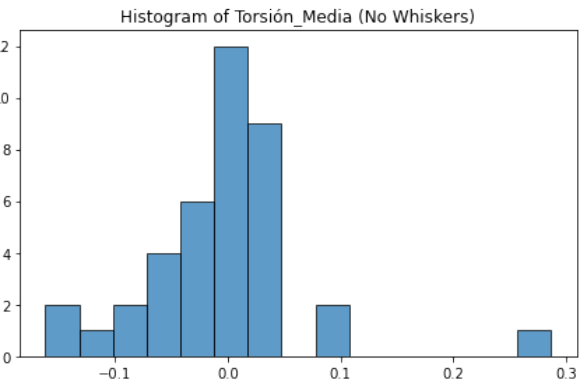
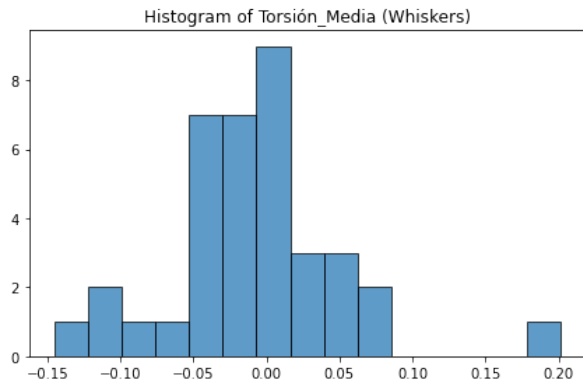
Histograms for Desviación Estándar de la Curvatura:



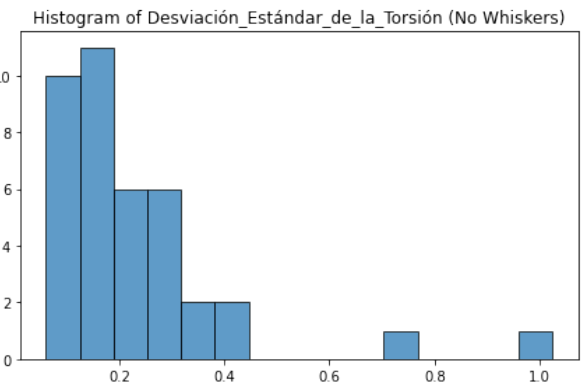
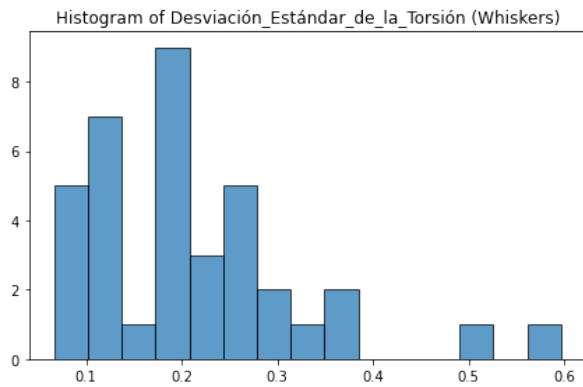
Histograms for Integral de la Curvatura:



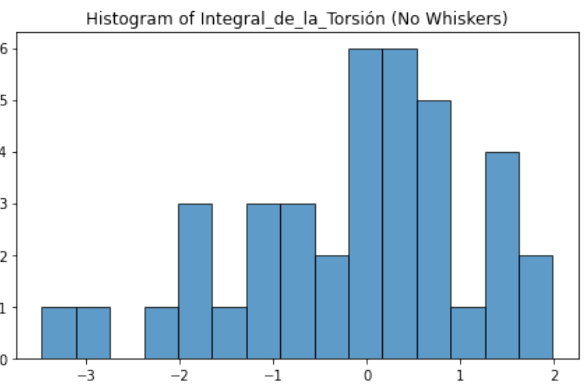
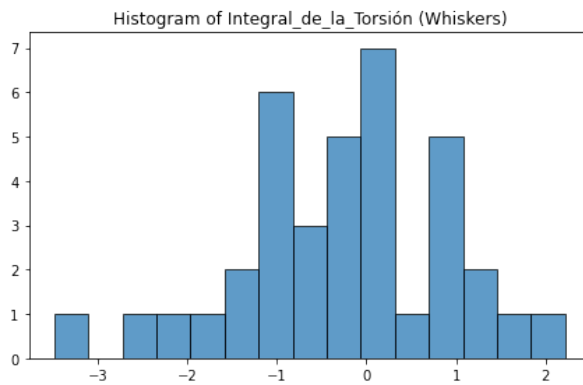
Histograms for Torsión_Media:



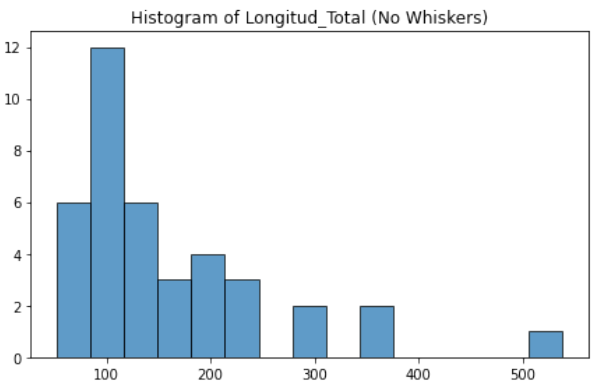
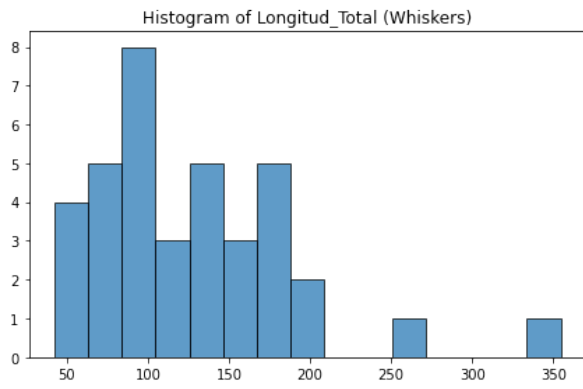
Histograms for Desviación_Estándar_de_la_Torsión:



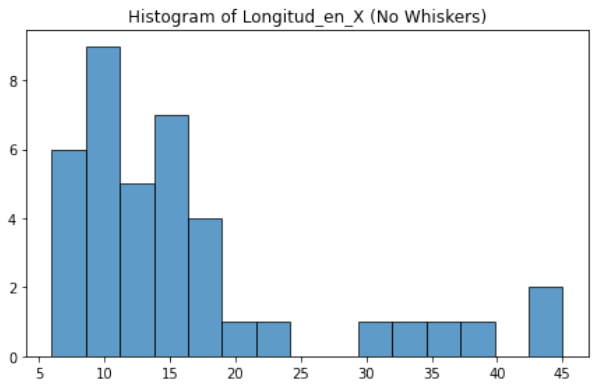
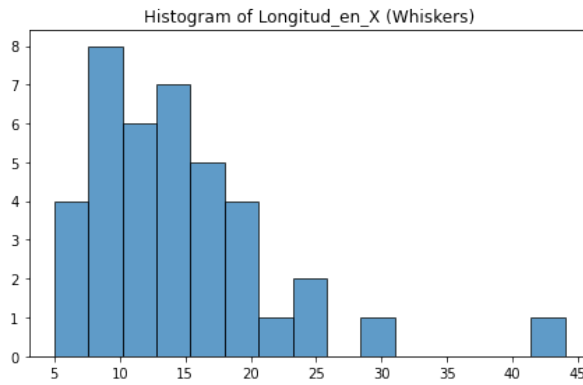
Histograms for Integral_de_la_Torsión:



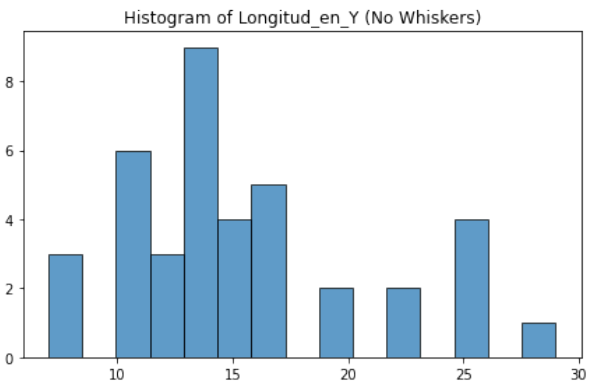
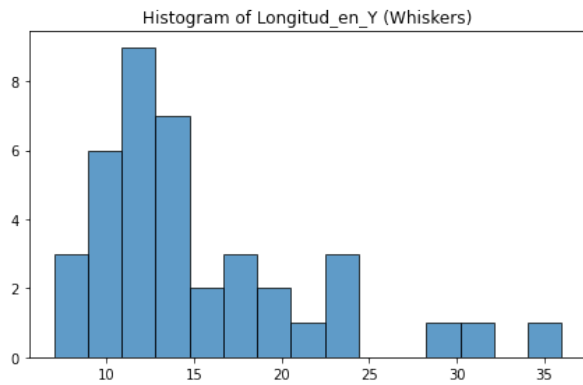
Histograms for Longitud_Total:



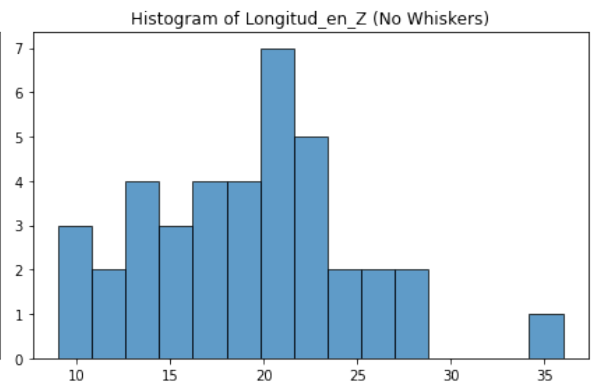
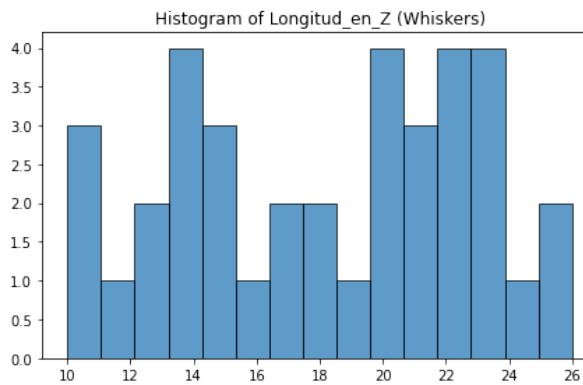
Histograms for Longitud_en_X:



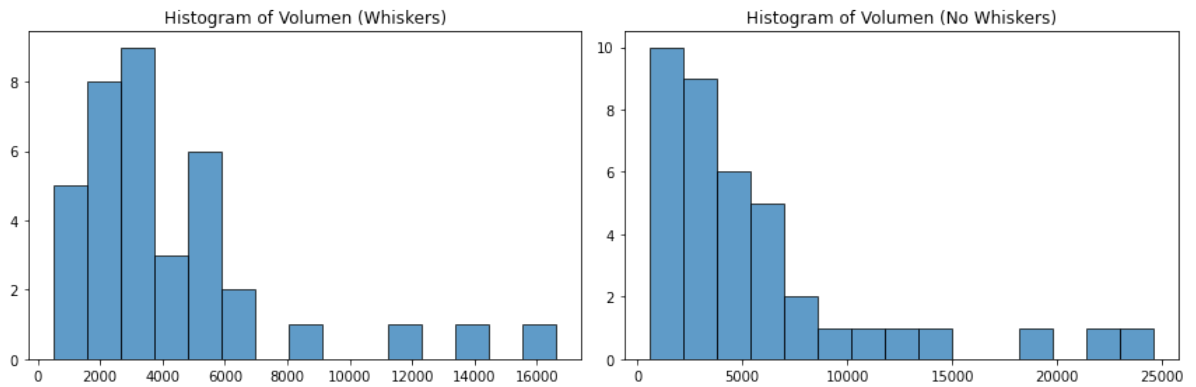
Histograms for Longitud_en_Y:



Histograms for Longitud_en_Z:



Histograms for Volumen:



Sin transformación logarítmica

```
In [13]: for metric in metrics:
    print(f"=====")
    print(f"Modelo lineal mixto para {metric}:\n")

    # Limpiar datos: eliminar filas con valores nulos
    cleaned_data = data_estable.dropna(subset=[metric, "Tipo"])

    # Ajustar el modelo lineal mixto con la métrica transformada
    model = smf.mixedlm(f"{metric} ~ Tipo", cleaned_data, groups=cleaned_data["Indi
    result = model.fit()

    # Mostrar el resumen del modelo
    display(result.summary())

    # Si es significativo, coloco una estrella
    if result.pvalues[1] < 0.05:
        print(f"=====")
        print("El efecto de 'Tipo' es significativo (p < 0.05)")
        print(f"=====\n")

    # Obtener residuos y valores ajustados
    try:
        residuos = cleaned_data[metric] - result.fittedvalues
        # Revisar los residuos
        print("Revisión de residuos:")

        # Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk
        stat, p = shapiro(residuos)
        if p > 0.05:
            print(f"Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de {metric}: Los resic
        else:
            print(f"Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de {metric}: Los resic
    except:
        print("Error al calcular residuos\n\n")
```

```
=====
Modelo lineal mixto para Velocidad_Media:
```

Model: MixedLM Dependent Variable: Velocidad_Media

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.8658
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-105.0549
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	4.037	0.218	18.531	0.000	3.610	4.464
Tipo[T.Whiskers]	0.039	0.214	0.182	0.855	-0.380	0.458
Group Var	0.101	0.131				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Velocidad_Media: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Velocidad:

Model: MixedLM Dependent Variable: Desviación_Estándar_de_la_Velocidad

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.4284
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-78.2391
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	2.189	0.127	17.248	0.000	1.940	2.438
Tipo[T.Whiskers]	-0.059	0.150	-0.395	0.693	-0.354	0.235
Group Var	0.020	0.053				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Desviación_Estándar_de_la_Velocidad: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Velocidad:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Integral_de_la_Velocidad	
No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	3460.5203
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-412.2263
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	119.397	14.986	7.967	0.000	90.026	148.769
Tipo[T.Whiskers]	-28.192	13.505	-2.088	0.037	-54.660	-1.723
Group Var	542.332	10.291				

=====
 El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)
 =====

Revisión de residuos:
 Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Integral_de_la_Velocidad: Los residuos NO parecen normales.

=====
 Modelo lineal mixto para Curvatura_Media:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Curvatura_Media	
No. Observations:	75	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0516
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-0.5880
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	18.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.447	0.051	8.723	0.000	0.346	0.547
Tipo[T.Whiskers]	-0.023	0.052	-0.445	0.656	-0.126	0.079
Group Var	0.005	0.029				

Revisión de residuos:
 Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Curvatura_Media: Los residuos NO parecen normales.

=====
 Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Curvatura:

Model: MixedLM Dependent Variable: Desviación_Estándar_de_la_Curvatura

No. Observations:	75	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.6743
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-94.6716
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	18.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.886	0.199	4.446	0.000	0.496	1.277
Tipo[T.Whiskers]	-0.079	0.190	-0.416	0.678	-0.451	0.293
Group Var	0.088	0.127				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Desviación_Estándar_de_la_Curvatura: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Curvatura:

Model: MixedLM Dependent Variable: Integral_de_la_Curvatura

No. Observations:	75	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	104.1398
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-278.5086
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	18.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	15.095	2.403	6.281	0.000	10.385	19.805
Tipo[T.Whiskers]	-4.038	2.357	-1.713	0.087	-8.658	0.582
Group Var	12.109	1.461				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Integral_de_la_Curvatura: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Torsión_Media:

Model: MixedLM Dependent Variable: Torsión_Media

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0043
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	inf
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.000					
Tipo[T.Whiskers]	-0.006	0.015	-0.398	0.691	-0.036	0.024
Group Var	0.000					

Error al calcular residuos

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Torsión:

Model: MixedLM Dependent Variable: Desviación_Estándar_de_la_Torsión

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0229
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	inf
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.000					
Tipo[T.Whiskers]	-0.016	0.035	-0.467	0.641	-0.084	0.052
Group Var	0.000					

Error al calcular residuos

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Torsión:

Model: MixedLM Dependent Variable: Integral_de_la_Torsión

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	1.4990
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-123.9807
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-0.138	0.210	-0.657	0.511	-0.549	0.273
Tipo[T.Whiskers]	-0.135	0.281	-0.480	0.631	-0.686	0.416
Group Var	0.022	0.065				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Integral_de_la_Torsión: Los residuos parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_Total:

Model: MixedLM Dependent Variable: Longitud_Total

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	6431.0519
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-434.9764
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	159.421	19.476	8.186	0.000	121.249	197.593
Tipo[T.Whiskers]	-32.251	18.409	-1.752	0.080	-68.333	3.831
Group Var	855.883	12.426				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Longitud_Total: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_X:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Longitud_en_X	
No. Observations:	78	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	44.8244
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-260.5545
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.5		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	16.806	3.538	4.750	0.000	9.872	23.741
Tipo[T.Whiskers]	-2.041	1.517	-1.345	0.178	-5.014	0.932
Group Var	45.460	5.958				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Longitud_en_X: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_Y:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Longitud_en_Y	
No. Observations:	78	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	27.3563
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-240.8666
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.5		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	15.704	2.071	7.582	0.000	11.644	19.763
Tipo[T.Whiskers]	-0.448	1.185	-0.378	0.706	-2.770	1.875
Group Var	14.344	2.519				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Longitud_en_Y: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_Z:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Longitud_en_Z	
No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	25.0515
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-228.9013
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	18.961	0.998	19.002	0.000	17.005	20.917
Tipo[T.Whiskers]	-0.785	1.149	-0.683	0.495	-3.036	1.467
Group Var	1.408	0.462				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Longitud_en_Z: Los residuos parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Volumen:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Volumen	
No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	16163148.4069
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-726.5002
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	5906.737	1661.407	3.555	0.000	2650.438	9163.035
Tipo[T.Whiskers]	-1691.692	922.936	-1.833	0.067	-3500.613	117.229
Group Var	9377604.069	2127.946				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Volumen: Los residuos NO parecen normales.

Con transformación logarítmica

```
In [14]: for metric in metrics:
          print(f"=====")
          print(f"Modelo lineal mixto para {metric} (con transformación logarítmica):\n")

          # Limpiar datos: eliminar filas con valores nulos
          cleaned_data = data_estable.dropna(subset=[metric, "Tipo"])
```

```

# Manejar valores negativos: calcular constante de desplazamiento
min_value = cleaned_data[metric].min()
shift_constant = abs(min_value) + 1 if min_value < 0 else 0

# Aplicar transformación Logarítmica con desplazamiento
cleaned_data[f"log_{metric}"] = np.log(cleaned_data[metric] + shift_constant)

# Crear un identificador único para la combinación de 'Individuo' y 'No. Vuelo'
cleaned_data["Grupo"] = cleaned_data["Individuo"].astype(str) + "_" + cleaned_data["No. Vuelo"]

# Ajustar el modelo Lineal mixto con la métrica transformada
model = smf.mixedlm(f"log_{metric} ~ Tipo", cleaned_data, groups=cleaned_data["Grupo"])
result = model.fit()

# Mostrar el resumen del modelo
display(result.summary())

# Si es significativo, coloco una estrella
if result.pvalues[1] < 0.05:
    print(f"=====")
    print("El efecto de 'Tipo' es significativo (p < 0.05)")
    print(f"=====\n")

# Obtener residuos y valores ajustados
try:
    residuos = cleaned_data[metric] - result.fittedvalues
    # Revisar los residuos
    print("Revisión de residuos:")

    # Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk
    stat, p = shapiro(residuos)
    if p > 0.05:
        print(f"Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_{metric}: Los residuos parecen seguir una distribución normal")
    else:
        print(f"Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_{metric}: Los residuos no parecen seguir una distribución normal")
except:
    print("Error al calcular residuos\n\n")

```

=====

Modelo lineal mixto para Velocidad_Media (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Velocidad_Media			
No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0447
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	4.5820
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	1.364	0.050	27.335	0.000	1.266	1.462
Tipo[T.Whiskers]	0.024	0.049	0.487	0.626	-0.071	0.119
Group Var	0.005	0.030				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Velocidad_Media: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Velocidad (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Desviación_Estándar_de_la_Velocidad

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0858
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-19.0199
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.733	0.061	12.084	0.000	0.615	0.852
Tipo[T.Whiskers]	-0.014	0.067	-0.209	0.834	-0.146	0.118
Group Var	0.006	0.029				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Desviación_Estándar_de_la_Velocidad: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Velocidad (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Integral_de_la_Velocidad

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.1945
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-51.3356
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	4.626	0.159	29.038	0.000	4.314	4.938
Tipo[T.Whiskers]	-0.213	0.101	-2.106	0.035	-0.412	-0.015
Group Var	0.081	0.174				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Integral_de_la_Velocidad: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Curvatura_Media (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Curvatura_Media			
No. Observations:	75	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.2105
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-52.2569
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	18.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-0.899	0.114	-7.898	0.000	-1.122	-0.676
Tipo[T.Whiskers]	-0.112	0.106	-1.055	0.291	-0.320	0.096
Group Var	0.030	0.075				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Curvatura_Media: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Curvatura (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Desviación_Estándar_de_la_Curvatura			
No. Observations:	75	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.5848
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-89.6841
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	18.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-0.388	0.196	-1.980	0.048	-0.772	-0.004
Tipo[T.Whiskers]	-0.285	0.177	-1.611	0.107	-0.631	0.062
Group Var	0.092	0.136				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Desviación_Estándar_de_la_Curvatura: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Curvatura (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Integral_de_la_Curvatura			
No. Observations:	75	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.5541
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-88.4232
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	18.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	2.419	0.233	10.397	0.000	1.963	2.875
Tipo[T.Whiskers]	-0.342	0.172	-1.988	0.047	-0.679	-0.005
Group Var	0.158	0.211				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Integral_de_la_Curvatura: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Torsión_Media (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Torsión_Media			
No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0031
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	inf
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.000					
Tipo[T.Whiskers]	-0.005	0.013	-0.377	0.706	-0.030	0.020
Group Var	0.000					

Error al calcular residuos

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Torsión (con transformación log aritmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Desviación_Estándar_de_la_Torsión

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.3146
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	inf
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-0.000					
Tipo[T.Whiskers]	0.000	0.129	0.001	0.999	-0.252	0.253
Group Var	0.000					

Error al calcular residuos

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Torsión (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Integral_de_la_Torsión

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.1304
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-33.7513
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	1.412	0.063	22.314	0.000	1.288	1.536
Tipo[T.Whiskers]	-0.023	0.083	-0.281	0.779	-0.186	0.139
Group Var	0.003	0.021				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Integral_de_la_Torsión: Los residuos parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_Total (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Longitud_Total			
No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.2013
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-52.3818
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	4.920	0.151	32.525	0.000	4.624	5.217
Tipo[T.Whiskers]	-0.181	0.103	-1.762	0.078	-0.383	0.020
Group Var	0.071	0.151				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Longitud_Total: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_X (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Longitud_en_X			
No. Observations:	78	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.1430
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-41.9019
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.5		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	2.673	0.186	14.394	0.000	2.309	3.037
Tipo[T.Whiskers]	-0.083	0.086	-0.974	0.330	-0.251	0.084
Group Var	0.123	0.289				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Longitud_en_X: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_Y (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Longitud_en_Y

No. Observations:	78	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0993
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-27.2911
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.5		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	2.698	0.122	22.086	0.000	2.459	2.938
Tipo[T.Whiskers]	-0.057	0.071	-0.801	0.423	-0.197	0.083
Group Var	0.049	0.145				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Longitud_en_Y: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_Z (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Longitud_en_Z

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0791
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-16.0374
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	2.897	0.058	49.698	0.000	2.783	3.012
Tipo[T.Whiskers]	-0.030	0.065	-0.458	0.647	-0.156	0.097
Group Var	0.005	0.029				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Longitud_en_Z: Los residuos parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Volumen (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Volumen

No. Observations:	76	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.5222
Min. group size:	18	Log-Likelihood:	-88.1884
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	19.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	8.267	0.286	28.863	0.000	7.706	8.829
Tipo[T.Whiskers]	-0.191	0.166	-1.149	0.251	-0.516	0.135
Group Var	0.274	0.349				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Volumen: Los residuos NO parecen normales.

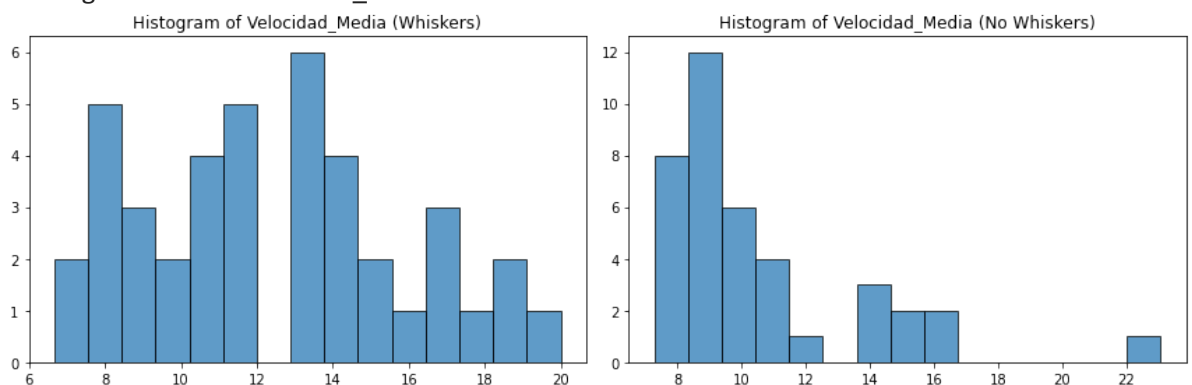
Análisis con pedicelo Flexible

```
In [15]: # Data estables, número de vuelo pares
data_flexible = data[data['No._Vuelo'].astype(int) % 2 == 0]

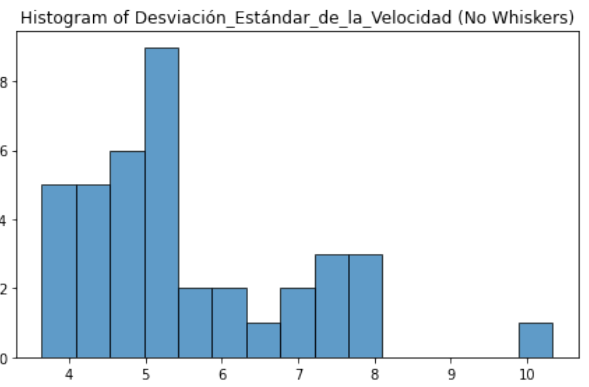
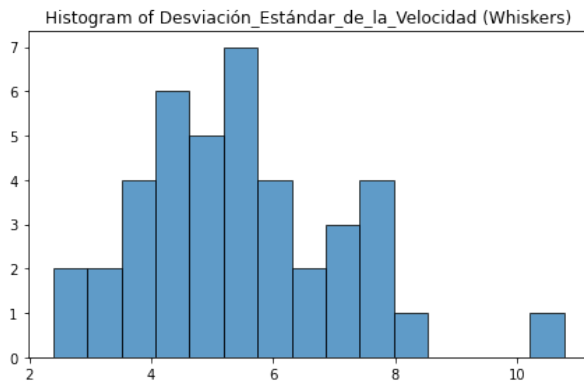
# Separate data based on "Tipo" (whiskers or no whiskers)
whiskers_data = data_flexible[data_flexible['Tipo'] == 'Whiskers']
no_whiskers_data = data_flexible[data_flexible['Tipo'] == 'No whiskers']

for metric in metrics:
    hist_plots(whiskers_data, no_whiskers_data, metric)
```

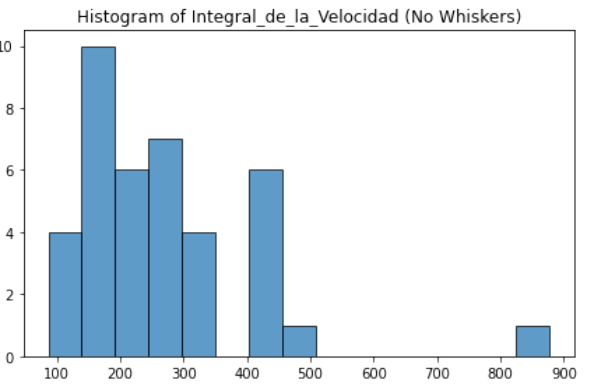
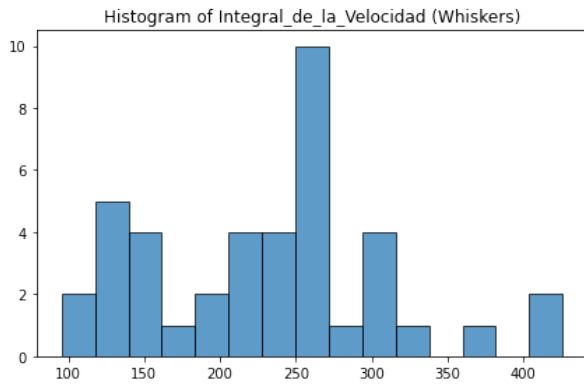
Histograms for Velocidad_Media:



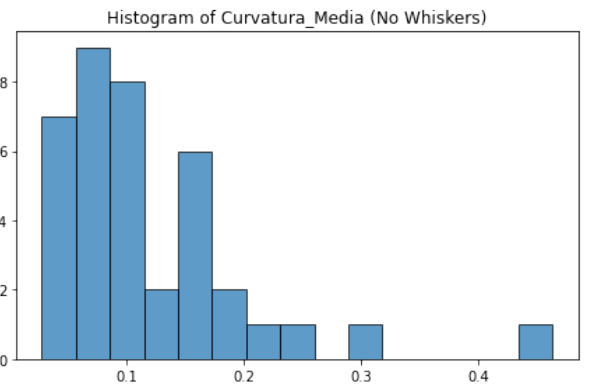
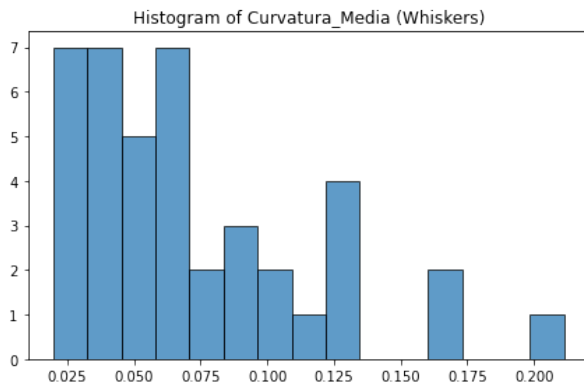
Histograms for Desviación_Estándar_de_la_Velocidad:



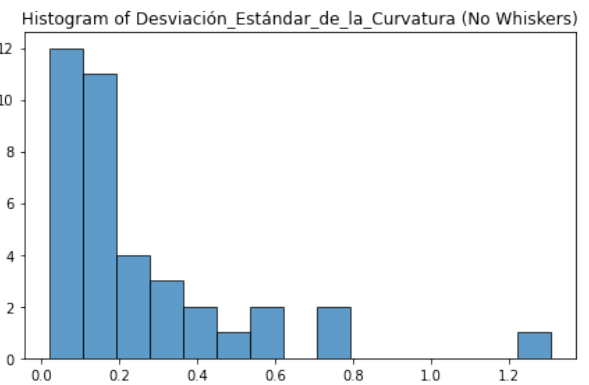
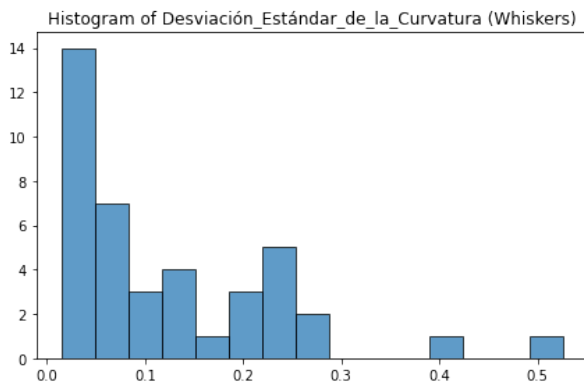
Histograms for Integral_de_la_Velocidad:



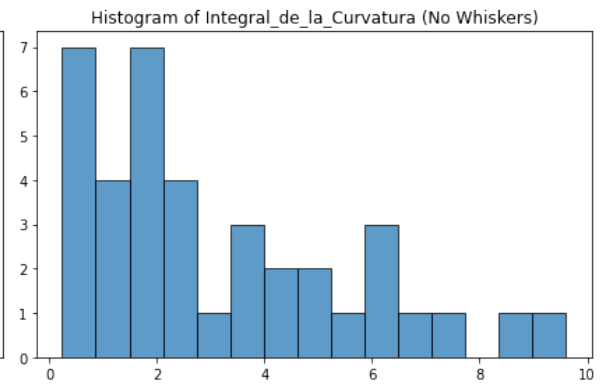
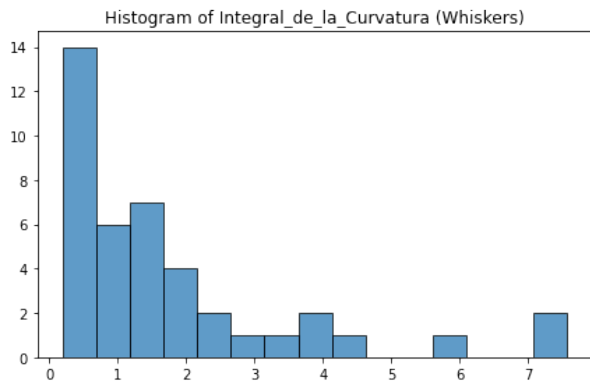
Histograms for Curvatura_Media:



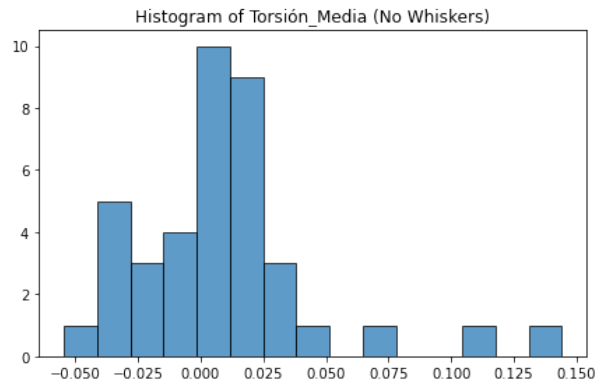
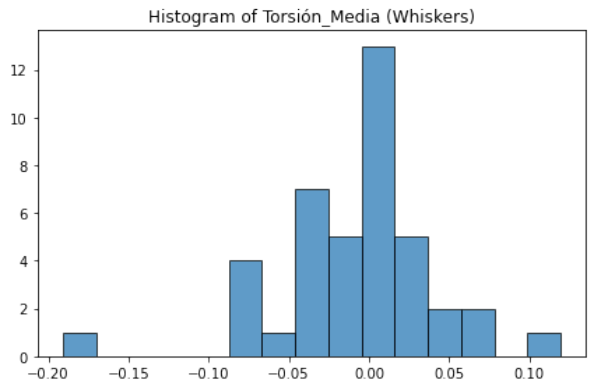
Histograms for Desviación_Estándar_de_la_Curvatura:



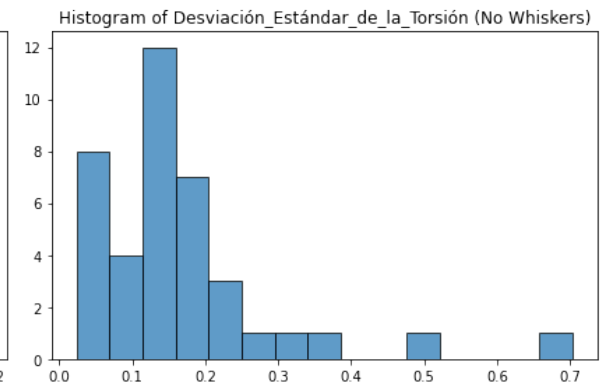
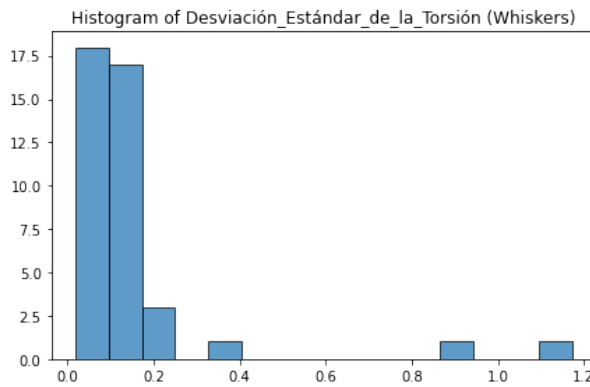
Histograms for Integral_de_la_Curvatura:



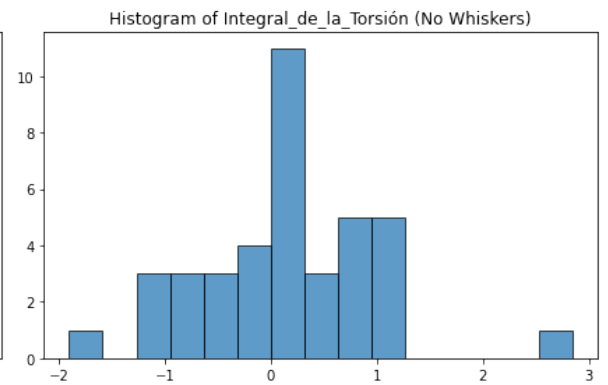
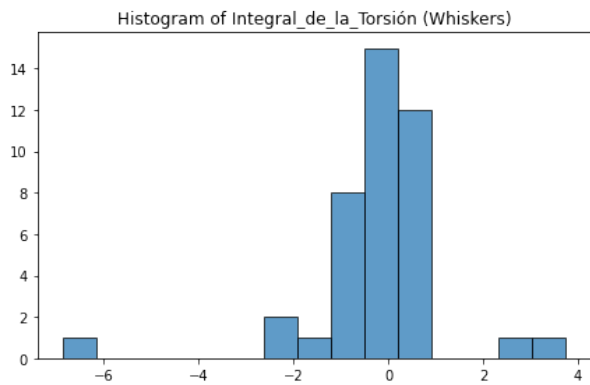
Histograms for Torsión_Media:



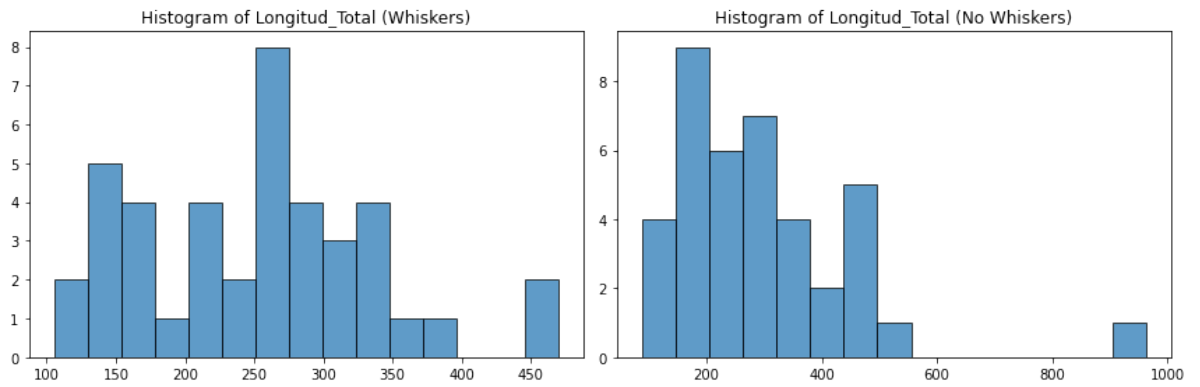
Histograms for Desviación_Estándar_de_la_Torsión:



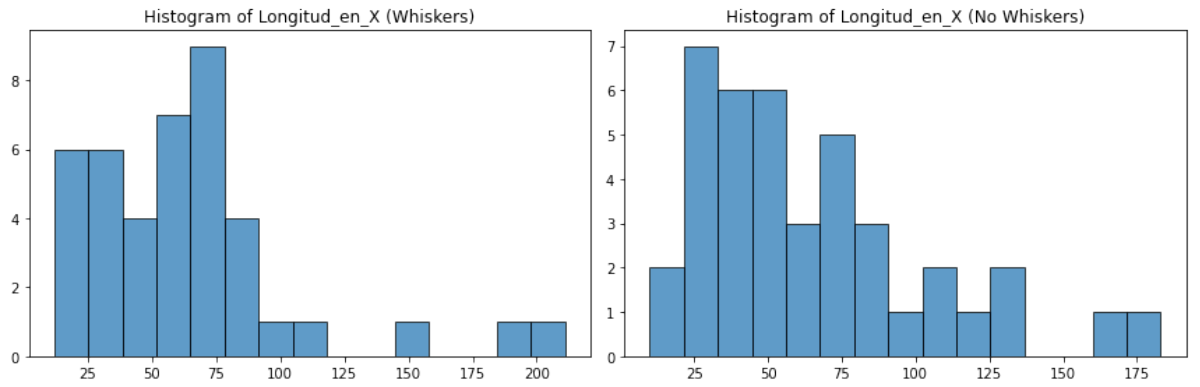
Histograms for Integral_de_la_Torsión:



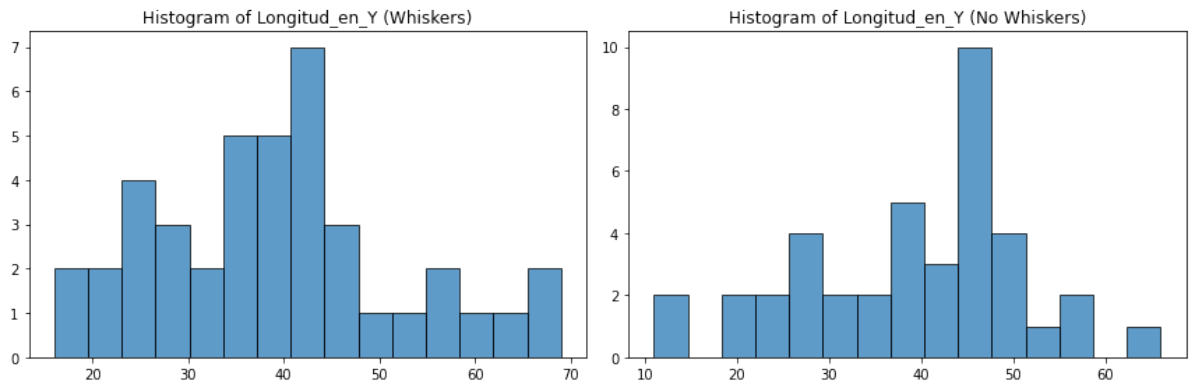
Histograms for Longitud_Total:



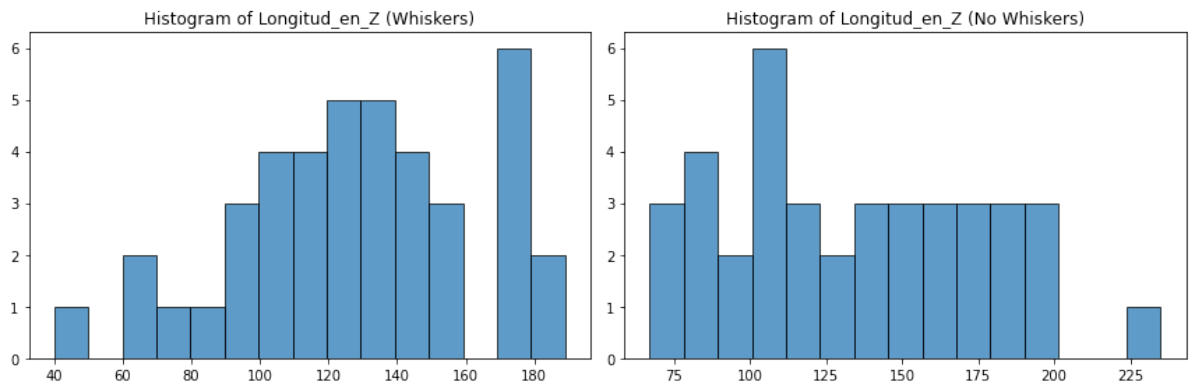
Histograms for Longitud_en_X:



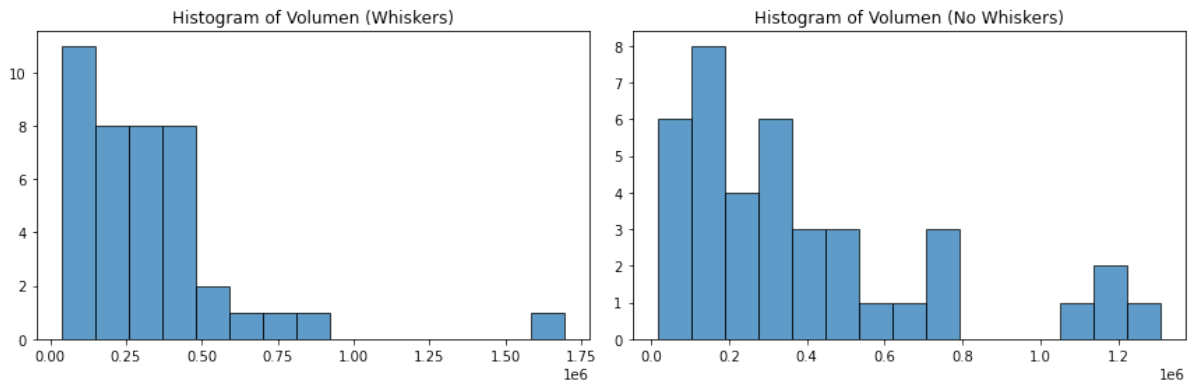
Histograms for Longitud_en_Y:



Histograms for Longitud_en_Z:



Histograms for Volumen:



Sin transformación logarítmica

```
In [16]: for metric in metrics:
    print(f"=====")
    print(f"Modelo lineal mixto para {metric}:\n")

    # Limpiar datos: eliminar filas con valores nulos
    cleaned_data = data_flexible.dropna(subset=[metric, "Tipo"])

    # Ajustar el modelo lineal mixto con la métrica transformada
    model = smf.mixedlm(f"{metric} ~ Tipo", cleaned_data, groups=cleaned_data["Indi
    result = model.fit()

    # Mostrar el resumen del modelo
    display(result.summary())

    # Si es significativo, coloco una estrella
    if result.pvalues[1] < 0.05:
        print(f"=====")
        print("El efecto de 'Tipo' es significativo (p < 0.05)")
        print(f"=====\n")

    # Obtener residuos y valores ajustados
    try:
        residuos = cleaned_data[metric] - result.fittedvalues
        # Revisar los residuos
        print("Revisión de residuos:")

        # Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk
        stat, p = shapiro(residuos)
        if p > 0.05:
            print(f"Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de {metric}: Los resic
        else:
            print(f"Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de {metric}: Los resic
    except:
        print("Error al calcular residuos\n\n")
```

```
=====
Modelo lineal mixto para Velocidad_Media:
```

Model: MixedLM Dependent Variable: Velocidad_Media

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	9.7541
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-206.0630
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	10.494	0.976	10.747	0.000	8.580	12.408
Tipo[T.Whiskers]	1.957	0.699	2.799	0.005	0.587	3.328
Group Var	2.813	0.880				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Velocidad_Media: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Velocidad:

Model: MixedLM Dependent Variable: Desviación_Estándar_de_la_Velocidad

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	2.5441
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-150.9914
Max. group size:	20	Converged:	No
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	5.535	0.265	20.847	0.000	5.014	6.055
Tipo[T.Whiskers]	-0.111	0.360	-0.308	0.758	-0.815	0.594
Group Var	0.019	0.298				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Desviación_Estándar_de_la_Velocidad: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Velocidad:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Integral_de_la_Velocidad	
No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	13319.9858
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-484.7681
Max. group size:	20	Converged:	No
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	269.336	18.537	14.530	0.000	233.004	305.667
Tipo[T.Whiskers]	-36.306	25.816	-1.406	0.160	-86.904	14.291
Group Var	8.269	4.601				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Integral_de_la_Velocidad: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Curvatura_Media:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Curvatura_Media	
No. Observations:	79	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0040
Min. group size:	19	Log-Likelihood:	97.6599
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	19.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.119	0.015	7.845	0.000	0.089	0.148
Tipo[T.Whiskers]	-0.047	0.014	-3.300	0.001	-0.075	-0.019
Group Var	0.000	0.009				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Curvatura_Media: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Curvatura:

Model: MixedLM Dependent Variable: Desviación_Estándar_de_la_Curvatura

No. Observations:	79	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0362
Min. group size:	19	Log-Likelihood:	13.2819
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	19.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.251	0.043	5.882	0.000	0.168	0.335
Tipo[T.Whiskers]	-0.123	0.043	-2.881	0.004	-0.207	-0.039
Group Var	0.003	0.023				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Desviación_Estándar_de_la_Curvatura: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Curvatura:

Model: MixedLM Dependent Variable: Integral_de_la_Curvatura

No. Observations:	79	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	3.7730
Min. group size:	19	Log-Likelihood:	-166.9142
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	19.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	3.154	0.611	5.166	0.000	1.957	4.351
Tipo[T.Whiskers]	-1.428	0.438	-3.261	0.001	-2.285	-0.570
Group Var	1.094	0.552				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Integral_de_la_Curvatura: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Torsión_Media:

Model: MixedLM Dependent Variable: Torsión_Media

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0020
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	inf
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-0.000	472075.823	-0.000	1.000	-925251.612	925251.612
Tipo[T.Whiskers]	-0.016	0.010	-1.606	0.108	-0.036	0.004
Group Var	0.000					

Error al calcular residuos

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Torsión:

Model: MixedLM Dependent Variable: Desviación_Estándar_de_la_Torsión

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0298
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	21.3001
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.165	0.037	4.502	0.000	0.093	0.236
Tipo[T.Whiskers]	-0.011	0.039	-0.280	0.779	-0.086	0.065
Group Var	0.002	0.018				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Desviación_Estándar_de_la_Torsión: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Torsión:

Model: MixedLM Dependent Variable: Integral_de_la_Torsión

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	1.4474
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	inf
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-0.000	12765887.742	-0.000	1.000	-25020680.206	25020680.206
Tipo[T.Whiskers]	-0.338	0.269	-1.255	0.210	-0.866	0.190
Group Var	0.000					

Error al calcular residuos

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_Total:

Model: MixedLM Dependent Variable: Longitud_Total

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	16153.7271
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-492.5057
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	294.870	21.174	13.926	0.000	253.371	336.369
Tipo[T.Whiskers]	-40.954	28.434	-1.440	0.150	-96.684	14.775
Group Var	136.174	6.184				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Longitud_Total: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_X:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Longitud_en_X	
No. Observations:	81	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	1433.3030
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-405.1706
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	20.2		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	65.325	10.001	6.532	0.000	45.723	84.927
Tipo[T.Whiskers]	-0.475	8.415	-0.056	0.955	-16.968	16.019
Group Var	256.777	7.222				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Longitud_en_X: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_Y:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Longitud_en_Y	
No. Observations:	81	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	121.9397
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-308.8642
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	20.2		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	38.825	3.923	9.898	0.000	31.137	46.513
Tipo[T.Whiskers]	0.553	2.455	0.225	0.822	-4.258	5.364
Group Var	49.351	4.178				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Longitud_en_Y: Los residuos parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_Z:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Longitud_en_Z	
No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	1081.1459
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-390.4247
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	135.318	12.832	10.546	0.000	110.168	160.467
Tipo[T.Whiskers]	-8.132	7.361	-1.105	0.269	-22.560	6.296
Group Var	547.624	15.237				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Longitud_en_Z: Los residuos parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Volumen:

Model: MixedLM		Dependent Variable: Volumen	
No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	93076572784.5022
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-1100.7616
Max. group size:	20	Converged:	No
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	389309.687	64458.847	6.040	0.000	262972.668	515646.706
Tipo[T.Whiskers]	-56927.975	68282.929	-0.834	0.404	-190760.057	76904.108
Group Var	7067342698.947	29407.807				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de Volumen: Los residuos NO parecen normales.

Con transformación logarítmica

```
In [17]: for metric in metrics:
          print(f"=====")
          print(f"Modelo lineal mixto para {metric} (con transformación logarítmica):\n")

          # Limpiar datos: eliminar filas con valores nulos
          cleaned_data = data_flexible.dropna(subset=[metric, "Tipo"])
```

```

# Manejar valores negativos: calcular constante de desplazamiento
min_value = cleaned_data[metric].min()
shift_constant = abs(min_value) + 1 if min_value < 0 else 0

# Aplicar transformación Logarítmica con desplazamiento
cleaned_data[f"log_{metric}"] = np.log(cleaned_data[metric] + shift_constant)

# Crear un identificador único para la combinación de 'Individuo' y 'No. Vuelo'
cleaned_data["Grupo"] = cleaned_data["Individuo"].astype(str) + "_" + cleaned_data["No. Vuelo"]

# Ajustar el modelo Lineal mixto con la métrica transformada
model = smf.mixedlm(f"log_{metric} ~ Tipo", cleaned_data, groups=cleaned_data["Grupo"])
result = model.fit()

# Mostrar el resumen del modelo
display(result.summary())

# Si es significativo, coloco una estrella
if result.pvalues[1] < 0.05:
    print(f"=====")
    print("El efecto de 'Tipo' es significativo (p < 0.05)")
    print(f"=====\n")

# Obtener residuos y valores ajustados
try:
    residuos = cleaned_data[metric] - result.fittedvalues
    # Revisar los residuos
    print("Revisión de residuos:")

    # Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk
    stat, p = shapiro(residuos)
    if p > 0.05:
        print(f"Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_{metric}: Los residuos parecen seguir una distribución normal")
    else:
        print(f"Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_{metric}: Los residuos no parecen seguir una distribución normal")
except:
    print("Error al calcular residuos\n\n")

```

=====

Modelo lineal mixto para Velocidad_Media (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Velocidad_Media			
No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0652
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-10.7924
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	2.313	0.081	28.604	0.000	2.155	2.472
Tipo[T.Whiskers]	0.166	0.057	2.908	0.004	0.054	0.278
Group Var	0.019	0.074				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Velocidad_Media: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Velocidad (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Desviación_Estándar_de_la_Velocidad

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0811
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	inf
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-0.000	3021621.392	-0.000	1.000	-5922269.103	5922269.103
Tipo[T.Whiskers]	-0.036	0.064	-0.569	0.569	-0.161	0.089
Group Var	0.000					

Error al calcular residuos

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Velocidad (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Integral_de_la_Velocidad

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.1599
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-44.5691
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	5.484	0.091	60.175	0.000	5.306	5.663
Tipo[T.Whiskers]	-0.094	0.090	-1.045	0.296	-0.269	0.082
Group Var	0.017	0.052				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Integral_de_la_Velocidad: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Curvatura_Media (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Curvatura_Media			
No. Observations:	79	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.3672
Min. group size:	19	Log-Likelihood:	-75.6352
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	19.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-2.329	0.126	-18.490	0.000	-2.576	-2.082
Tipo[T.Whiskers]	-0.492	0.137	-3.605	0.000	-0.760	-0.225
Group Var	0.025	0.060				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Curvatura_Media: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Curvatura (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Desviación_Estándar_de_la_Curvatura			
No. Observations:	79	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.8345
Min. group size:	19	Log-Likelihood:	-107.1169
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	19.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-1.796	0.185	-9.719	0.000	-2.158	-1.434
Tipo[T.Whiskers]	-0.655	0.206	-3.184	0.001	-1.059	-0.252
Group Var	0.049	0.083				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Desviación_Estándar_de_la_Curvatura: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Curvatura (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Integral_de_la_Curvatura

No. Observations:	79	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.7217
Min. group size:	19	Log-Likelihood:	-103.6105
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	19.8		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	0.795	0.298	2.667	0.008	0.211	1.379
Tipo[T.Whiskers]	-0.724	0.191	-3.779	0.000	-1.099	-0.348
Group Var	0.279	0.311				

=====

El efecto de 'Tipo' es significativo ($p < 0.05$)

=====

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Integral_de_la_Curvatura: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Torsión_Media (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Torsión_Media

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0014
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	inf
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-0.000	399593.665	-0.000	1.000	-783189.192	783189.192
Tipo[T.Whiskers]	-0.014	0.008	-1.647	0.100	-0.030	0.003
Group Var	0.000					

Error al calcular residuos

=====

Modelo lineal mixto para Desviación_Estándar_de_la_Torsión (con transformación log arítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Desviación_Estándar_de_la_Torsión

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.5306
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-92.5315
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-2.059	0.229	-9.004	0.000	-2.507	-1.610
Tipo[T.Whiskers]	-0.240	0.163	-1.472	0.141	-0.560	0.080
Group Var	0.155	0.207				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Desviación_Estándar_de_la_Torsión:
Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Integral_de_la_Torsión (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM		Dependent Variable: log_Integral_de_la_Torsión	
No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0657
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-8.3740
Max. group size:	20	Converged:	No
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	2.073	0.043	48.665	0.000	1.989	2.156
Tipo[T.Whiskers]	-0.074	0.057	-1.288	0.198	-0.186	0.039
Group Var	0.001	0.066				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Integral_de_la_Torsión: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_Total (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM		Dependent Variable: log_Longitud_Total	
No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.1642
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-45.7529
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	5.573	0.096	58.151	0.000	5.385	5.761
Tipo[T.Whiskers]	-0.099	0.091	-1.096	0.273	-0.277	0.078
Group Var	0.020	0.058				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Longitud_Total: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_X (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Longitud_en_X			
No. Observations:	81	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.3135
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-72.6550
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	20.2		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	4.006	0.164	24.360	0.000	3.684	4.329
Tipo[T.Whiskers]	-0.011	0.124	-0.092	0.927	-0.255	0.232
Group Var	0.077	0.138				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Longitud_en_X: Los residuos NO parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_Y (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Longitud_en_Y			
No. Observations:	81	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.1064
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-30.5245
Max. group size:	21	Converged:	Yes
Mean group size:	20.2		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	3.596	0.113	31.962	0.000	3.376	3.817
Tipo[T.Whiskers]	0.021	0.073	0.286	0.775	-0.121	0.163
Group Var	0.040	0.116				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Longitud_en_Y: Los residuos parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Longitud_en_Z (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Longitud_en_Z

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.0748
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-16.8604
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	4.859	0.107	45.572	0.000	4.650	5.068
Tipo[T.Whiskers]	-0.058	0.061	-0.949	0.343	-0.178	0.062
Group Var	0.038	0.126				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Longitud_en_Z: Los residuos parecen normales.

=====

Modelo lineal mixto para Volumen (con transformación logarítmica):

Model: MixedLM Dependent Variable: log_Volumen

No. Observations:	80	Method:	REML
No. Groups:	4	Scale:	0.6325
Min. group size:	20	Log-Likelihood:	-99.7478
Max. group size:	20	Converged:	Yes
Mean group size:	20.0		

	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	12.473	0.278	44.893	0.000	11.929	13.018
Tipo[T.Whiskers]	-0.061	0.178	-0.343	0.732	-0.410	0.288
Group Var	0.244	0.288				

Revisión de residuos:

Prueba de Shapiro-Wilk para los residuos de log_Volumen: Los residuos NO parecen normales.