



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

**DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE FLUENCIA Y ROTURA ESPERADOS
PARA PERFILES DE ACERO QUE SE UTILIZAN EN CHILE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

CAMILO NICOLÁS GACITÚA HERNÁNDEZ

PROFESOR GUIA:

RICARDO HERRERA MARDONES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

ALEJANDRO VERDUGO PALMA

CARLOS AGUIRRE AHUMADA

SANTIAGO DE CHILE

AGOSTO 2014

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: CAMILO GACITÚA H.
FECHA: 25/08/2014
PROF. GUÍA: Sr. Ricardo Herrera M.

“DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE FLUENCIA Y ROTURA ESPERADOS
PARA PERFILES DE ACERO QUE SE UTILIZAN EN CHILE”

El presente trabajo de título busca encontrar los valores de las razones de fluencia, R_y , y rotura, R_t , de la norma ANSI/AISC 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings para perfiles de acero que se utilizan en Chile.

Para el análisis se hace una investigación y recopilación de información de distintas fuentes chilenas que estén dispuestas a facilitar datos y que tengan relación con el ensaye de elementos de acero en sus distintos grados (por ejemplo: IDIEM, DICTUC, CESMEC, ICHA), o en su defecto con empresas que tengan relación con el rubro del acero estructural y que tengan dentro de sus políticas el tener el respaldo de los ensayos de las planchas y/o perfiles con que trabajan (por ejemplo: ARRIGONI, EDYCE, CAP). Con ello se hizo un análisis estadístico que, acorde con la metodología de cálculo de los coeficientes de la Norma AISC, tendrá como objetivo encontrar el valor de resistencia esperada tanto de fluencia como de rotura de los tipos de acero en cuestión. Así posteriormente, se planteó el valor nominal de R_t y R_y que corresponde a cada grado de acero utilizado en Chile.

Lo medular se concentra en un análisis comparativo entre los valores para el acero norteamericano y el utilizado en Chile, con el motivo de discernir si es necesario el que los nuevos valores encontrados se apliquen en el medio nacional o si los estadounidenses son adecuados para las condiciones de nuestro país. Esto se hace teniendo en consideración distintos factores que pudieran afectar la calidad del acero, como el país de origen de las planchas y/o perfiles de acero y año en que fue introducido al mercado (desde 2006 a la fecha), además del total de los datos recopilados.

Los resultados obtenidos indican una concordancia, en magnitud, entre las tensiones de fluencia y rotura esperadas observadas en el mercado local con los que se pueden obtener de la norma ANSI/AISC 341-10. Para el caso de planchas de acero ASTM A36 el R_y obtenido supera en un 3% al recomendado y el R_t está 1,6% bajo el normado. Por otro lado para las planchas de acero A572 Gr50 el valor de R_y supera en un 12,7% el valor propuesto por la AISC, mientras que el de R_t está por sobre el de la norma en un 7%.

Los valores obtenidos para los perfiles de acero laminados en caliente de calidad A270ES son $R_y=1,25$ y $R_t=1,15$. Para perfiles laminados de calidad A345ES los coeficientes son $R_y=1,26$ y $R_t=1,14$. Estos valores son únicos y no tienen comparación con la Norma ANSI/AISC 341-10 dado que son de fabricación y nomenclatura nacional.

AGRADECIMIENTOS

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN DE LA MEMORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Organización del Informe.....	2
1.2.1 Capítulo 2: Antecedentes	2
1.2.2 Capítulo 3: Recopilación y Análisis de Datos	2
1.2.3 Capítulo 4: Conclusiones	2
CAPITULO 2: ANTECEDENTES	3
2.1 Metodología previa de trabajo.	3
2.1.1 Reconocimiento del Objetivo del Estudio	3
2.1.2 Recopilación de Datos	4
2.2. Método Estadístico	5
2.2.1 Tipos de Datos	5
2.2.2 Tabla de Distribución de Frecuencia	5
2.2.3 Representación gráfica de conjuntos de datos	6
2.2.4 Medidas de tendencia central	7
2.2.5 Medidas de Variación o Dispersión	8
2.2.6 Medidas de Posición	9
2.2.7 Distribución de Probabilidad de Variables Aleatorias	10
CAPITULO 3: RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	13
3.1 Recopilación de Datos	13
3.1.1 Fuentes de Datos	13
3.1.2 Criterios de Investigación	14
3.1.3 Tipos de Datos	15
3.1.4 Descripción de Conjuntos de Datos	15
3.2 Análisis de Datos	15
3.2.1 Obtención de Coeficientes de Rotura y Fluencia Esperados	15
3.2.2 Análisis estadístico de los resultados.....	16
3.3 Resultados Obtenidos.....	17

3.3.1 Resultados según calidad de Acero	17
3.3.2 Resultados según País de Origen.....	28
3.3.3 Resultados según año de importación o elaboración	60
3.4 Resumen de Resultados Obtenidos	110
3.4.1 Resumen Según Calidad de Acero.	110
3.4.2 Resumen Según País de Origen.....	110
3.4.3 Resumen Según Año de Importación o Fabricación.	111
3.5 Requerimientos NCh 203 Of 2006	111
4. CONCLUSIONES.....	112
4.1 Generalidades	112
4.2 Análisis Estadístico	112
4.3 Conclusiones sobre resultados obtenidos y Comparación con valores de la Norma ANSI/AISC 314-10.....	113
4.3.1 Resultados Generales.....	113
4.3.2 Resultados Según País de Origen	114
4.3.3 Resultados Según Año de Importación o Elaboración	115
5. BIBLIOGRAFÍA	120

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Durante el transcurso de los años, la Ingeniería a nivel nacional ha tenido importantes modificaciones debido a distintos factores (ej: terremotos, fallas estructurales locales y globales, etc), ante lo cual se han hecho adaptaciones de normas internacionales, con motivo de aplicar dicho conocimiento al medio local, tal como ocurre con la NCh430 y la ACI 318. De esta manera, se ha comenzado a buscar la manera de aplicar a la Ingeniería nacional el criterio de provisiones sísmicas de la norma AISC.

La norma ANSI/AISC 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings en su sección A3.2 hace alusión a la resistencia esperada del material, mencionando que, cuando es requerido, la resistencia de un elemento puede ser determinada a partir de la *tensión esperada de fluencia*, $R_y F_y$, del elemento o de un elemento colindante. Lo mismo sucede para el caso de rotura pues, cuando se requiere determinar la resistencia nominal R_n para estados límite, se permite usar la tensión de fluencia esperada y la *resistencia a tracción esperada*, $R_t F_u$, donde:

R_t : Razón de resistencia a tracción esperada con respecto a la resistencia mínima especificada a tracción F_u .

R_y : Razón de tensión de fluencia esperada con respecto a la tensión mínima especificada de fluencia F_y .

Sin embargo, esta norma hace referencia a estudios experimentales basados en ensayos de aceros norteamericanos, por lo que los coeficientes que se mencionan para determinar resistencias esperadas en el acero podrían no aplicar a los tipos de aceros que se utilizan y comercializan en Chile. De esta manera, es necesario poder hacer un estudio tal que los valores esperados de resistencia y tensión se adecúen a la realidad de los aceros que se utilizan en el país (los que pueden ser tanto de fabricación íntegramente chilena, como importados), pues los valores de resistencia mínima especificada a tracción F_u y de tensión mínima especificada de fluencia F_y son conocidos y aplicables.

Dado que, al hacer un análisis comparativo entre resultados para aceros norteamericanos y chilenos, los valores esperados de resistencia y tensión podrían eventualmente diferir, es que se hace necesario el estudio de ello y así tener una referencia concreta de si es necesario tener valores de R_t y R_y particulares para el caso de los tipos de acero que se utilicen en nuestro país.

1.1. Objetivos

1.1.1 General

- Aportar al conocimiento del comportamiento esperado de los materiales en Chile, más específicamente, el del acero estructural.
- Establecer requisitos mínimos de calidad y lograr diseños más seguros.

1.1.2 Específicos

- Encontrar valores esperados de fluencia y rotura particulares para los tipos de acero que se utilicen en Chile.
- Comparar los valores obtenidos con los que se encuentran en la norma ANSI/AISC 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.
- Evaluar las diferencias entre valores esperados norteamericanos y nacionales para generar tabla de valores en caso de ser requerida. Establecer requisitos mínimos para la aprobación del acero estructural.

1.2. Organización del Informe

La presente Memoria de Título está conformada por diferentes capítulos, los cuales se detallan brevemente a continuación:

1.2.1 Capítulo 2: Antecedentes

Se presenta una revisión de antecedentes que incluye la metodología previa de trabajo, donde se reconocen las problemáticas a tratar y cómo se deben enfrentar. Además, se muestran las bases teóricas desde el punto de vista estadístico para hacer una correcta determinación de los valores de coeficientes de fluencia y rotura esperados.

1.2.2 Capítulo 3: Recopilación y Análisis de Datos

Se muestra cómo se hizo para poder recopilar datos para la investigación, mencionando fuentes, criterios de investigación, al tipo de datos que corresponden, etc. Además, se presenta la forma en que fue enfrentada la problemática desde el punto de vista analítico y estadístico, entregando las bases a considerar. Por último, se muestran los resultados obtenidos en forma de tablas y gráficos, haciendo un breve análisis numérico en cada uno de ellos.

1.2.3 Capítulo 4: Conclusiones

A lo largo de este capítulo se encuentran las principales conclusiones del trabajo, referentes al análisis estadístico, resultados obtenidos, comparación de valores R_y y R_t obtenidos con los de la Norma AISC y recomendaciones para estudios futuros.

CAPITULO 2: ANTECEDENTES

En esta sección se abordan varios antecedentes sobre el tema, mostrando características generales y particulares de los criterios estadísticos a utilizar para el estudio en cuestión.

2.1 Metodología previa de trabajo.

2.1.1 Reconocimiento del Objetivo del Estudio

Previo a cualquier trabajo, se tuvo que dar conocimiento a lo que se quiere hacer y, para ello, el foco se traslada a la AISC [1] donde se encuentra la tabla A3.1, la cual se titula “ R_y y R_t Values for Steel and Steel Reinforcement Materials” (Valores R_y y R_t para materiales de acero y acero de refuerzo) y es el foco principal de este estudio, pues es lo que se quiere obtener. La tabla en cuestión es la siguiente:

Tabla N°1: Tabla A3.1 de la AISC

TABLE A3.1 R_y and R_t Values for Steel and Steel Reinforcement Materials		
Application	R_y	R_t
Hot-rolled structural shapes and bars:		
• ASTM A36/A36M	1.5	1.2
• ASTM A1043/1043M Gr. 36 (250)	1.3	1.1
• ASTM A572/572M Gr. 50 (345) or 55 (380), ASTM A913/A913M Gr. 50 (345), 60 (415), or 65 (450), ASTM A588/A588M, ASTM A992/A992M	1.1	1.1
• ASTM A1043/A1043M Gr. 50 (345)	1.2	1.1
• ASTM A529 Gr. 50 (345)	1.2	1.2
• ASTM A529 Gr. 55 (380)	1.1	1.2
Hollow structural sections (HSS):		
• ASTM A500/A500M (Gr. B or C), ASTM A501	1.4	1.3
Pipe:		
• ASTM A53/A53M	1.6	1.2
Plates, Strips and Sheets:		
• ASTM A36/A36M	1.3	1.2
• ASTM A1043/1043M Gr. 36 (250)	1.3	1.1
• A1011/A1011M HSLAS Gr. 55 (380)	1.1	1.1
• ASTM A572/A572M Gr. 42 (290)	1.3	1.0
• ASTM A572/A572M Gr. 50 (345), Gr. 55 (380), ASTM A588/A588M	1.1	1.2
• ASTM 1043/1043M Gr. 50 (345)	1.2	1.1
Steel Reinforcement:		
• ASTM A615, ASTM A706	1.25	1.25

Se ve que en el primer grupo hace mención a perfiles laminados y barras de acero, entregando los valores de Fluencia y Rotura Esperados correspondientes a cada uno. Posteriormente, hace lo mismo para los perfiles de sección rectangular (HSS), tuberías, planchas y por último al acero de refuerzo.

La norma es explícita posteriormente para los valores de Fluencia y Rotura Esperados, diciendo que los valores están dados íntegramente en la tabla, pero que otros valores de R_y y R_t son permitidos si los valores son determinados mediante testeos de especímenes de similar tamaño y material que el que será usado. De esta manera, la AISC permite que se hagan estudios como el actual, donde los materiales a determinar son los que se utilizan en Chile específicamente. Así, nos prestamos a realizar la obtención de datos sobre los aceros nacionales.

El método que utilizó la AISC para determinar sus valores de R_y y R_t se encuentra en el FEMA 350 [2], en su sección 2.6.2, donde se menciona que “la resistencia esperada $R_y E_y$ intenta aproximar el valor promedio de la resistencia de fluencia del material producido para una calidad y grado específicos”. Posteriormente continúa y explicita que “dado que los valores de resistencia esperada se usan para estimar la magnitud de la fuerza que se puede transmitir a los elementos adyacentes conectados, el uso de este valor conservador (promedio más una desviación estándar) es apropiado. Mayor información de la variación estadística de la resistencia del acero puede ser encontrada en FEMA 355^a, State of the Art Report on Base Metals and Fracture[3]”, por lo que este es el formato que se utiliza para determinar los valores en este estudio.

2.1.2 Recopilación de Datos

Para realizar una correcta obtención de datos, se debe tener en claro el tipo de encuesta o recopilación mediante la cual se irán registrando. Para ello, se debe tener claro cuáles serán los criterios para diseñar la encuesta o la recopilación de datos, tales como:

- Definir el objetivo del estudio
- Definir la población de interés
- Determinar el tamaño de la muestra
- Seleccionar el tipo de muestreo
- Elegir temas generales
- Elaborar el formulario para la encuesta: Preguntas cortas, claras y de opciones
- Realizar pruebas
- Realizar la encuesta [5]

En el caso particular de este estudio, se hace irrelevante el hacer una encuesta como tal, sino que se solicita directamente a las fuentes de información que entreguen los

valores de fluencia y rotura de sus elementos de acero estructural que han obtenido a lo largo de los años. Esto puede ser mediante varias opciones, tales como certificados de ensayos realizados en maestranza, certificados de ensayos que se hayan recibido directamente de la fuente en caso que los elementos de acero sean importados, información que tengan como respaldo de hace varios años de ensayos que se hayan realizado a los elementos de perfilera armada en caliente, entre otros.

Dado lo anterior, se debe saber claramente qué tipo de datos serán los que se obtendrán. En Estadística Descriptiva, se tiene que los resultados posibles a obtener son: Datos cualitativos (respuestas categóricas) y Datos cuantitativos (respuestas numéricas). Dentro de estos últimos, destacan las variables discretas (se obtienen mediante conteo simple) y continuas (se obtienen mediante mediciones).

2.2. Método Estadístico

El estudio tendrá como base el trabajo en estadística del tipo descriptiva (Estudio de técnicas para recopilar, organizar y presentar los datos obtenidos en un estudio estadístico para facilitar su análisis y aplicación [5]). A continuación, se hace una introducción teórica de los métodos que tiene la Estadística para explicar de mejor manera el estudio en cuestión, enfocándose sólo en los que son de utilidad para la investigación, sin ahondar más en otras características de la Estadística que están fuera del alcance del estudio.

2.2.1 Tipos de Datos

Para el estudio se utilizarán datos numéricos continuos, los cuales generalmente son el resultado de una medición que se expresa en unidades. Las mediciones pueden tomar teóricamente un conjunto infinito de valores posibles dentro de un rango. En la práctica los valores posibles de la variable están limitados por la precisión del método de medición o por el modo de registro. A pesar que los datos se toman por conteo, la gran cantidad de valores posibles que pueden tomar las tensiones de fluencia y rotura, hacen que sea más factible utilizar datos continuos que discretos.

2.2.2 Tabla de Distribución de Frecuencia

Al tener los datos previamente recopilados y tabulados, se hace necesario encontrar la distribución que estos tienen. Para ello, se construye la tabla de frecuencia siguiendo las siguientes recomendaciones de Probabilidad y Estadística Básica Para Ingenieros [5] y Apuntes de Estadística para Ingenieros [28]:

- 1) Identificar unidad de medida de los datos
- 2) Obtener el rango de los datos, R

$$R = \text{mayor valor} - \text{menor valor}$$

- 3) Seleccionar el número de clases (o intervalos) k , para agrupar los datos. Dado que son más de 250 datos, se sugiere ocupar 20 intervalos.
- 4) Obtener la amplitud de las clases,

$$\text{Amplitud} = \frac{R}{k}$$

Se puede redefinir la amplitud, el número de clases y los extremos de cada clase de tal manera que las clases tengan la misma amplitud, incluyan a todos los datos y los valores en los extremos de las clases sean simples. Para efectos del estudio, se hará directamente con las clases y amplitudes que se obtienen de los pasos anteriores.

- 5) Realizar el conteo de datos para obtener la frecuencia de cada clase

Notación:

- n : número de datos
- k : número de clases
- f_i : frecuencia de la clase i
- f_i/n : frecuencia relativa de la clase i
- F_i : frecuencia acumulada de la clase i ($F_i=f_1+f_2+\dots+f_i$)
- F_i/n : frecuencia acumulada relativa de la clase i
- M_i : marca de la clase i (centro de la clase i)

Con ello, los resultados se organizan en un cuadro denominado Tabla de Frecuencia.

2.2.3 Representación gráfica de conjuntos de datos

En esta sección revisamos algunos dispositivos frecuentemente usados para resaltar visualmente las características de grupos de datos y que son usadas en este estudio en particular.

2.2.3.1 Histograma

Es una variante del diagrama de barras donde se agrupan los valores de la variable en intervalos para que estos intervalos tengan frecuencias mayores a uno.

Para obtener un histograma de forma manual deben seguirse los siguientes pasos.

- Calcular número N de intervalos a utilizar. Se recomienda que sea aproximadamente la raíz cuadrada del número de datos. Sin embargo, los programas estadísticos suelen utilizar el Método de Sturges que está dado por $N = [\log_2 n + 1]$, donde n es el número de datos.
- Calcular el Rango (2.2.5.1)

- Calcular Longitud de los intervalos como el cociente entre el rango del histograma y el número de intervalos.
- Construir N Intervalos $I_N = [x_m + N \times L, x_M)$
- Ver frecuencia asociada a los datos comprendidos en el Intervalo I_i

2.2.3.2 Ojiva

Este gráfico se usa para representar la frecuencia acumulada, absoluta o relativa. Se lo obtiene uniendo segmentos de recta que se extienden entre los extremos de las clases y usando los valores de la frecuencia acumulada. Este tipo de gráficos son los que se usan, por ejemplo, para realizar las granulometrías en Mecánica de Suelos.

2.2.4 Medidas de tendencia central

Son medidas de posición que tratan de establecer un valor que pueda considerarse “el centro de los datos”. Los más utilizados en el estudio se indican a continuación.

2.2.4.1 Media (o Promedio)

Representa el promedio aritmético y, por lo tanto, al centro de gravedad de los datos. Sin embargo, es sensible a errores en los datos. Un dato erróneo puede cambiar significativamente el valor de la media muestral. Para evitar este problema, se puede ignorar un pequeño porcentaje de los datos más grandes y más pequeños de la muestra antes de calcular la media muestral. Sin embargo, tal como se dijo anteriormente, para este estudio se consideran todos los datos obtenidos.

La definición de Media Muestral es:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

2.2.4.2 Moda o intervalo modal

Corresponde al valor que ocurre con mayor frecuencia en una muestra, es decir, el que más veces se repite. Puede ocurrir que no exista la moda y también es posible que exista más de una moda. Lo que ocurre es que si los datos son de una variable continua o discreta con muchos valores, puede que los datos apenas se repitan. En ese caso, se debe agrupar por intervalos, no debe darse un valor como moda, sino un intervalo modal, aquel con mayor frecuencia asociada.

La definición de Moda Muestral es:

$$M_o = \text{valor que más veces se repite}$$

2.2.4.3 Mediana Muestral

Es el valor que está en el centro de los datos cuando éstos son ordenados en forma creciente o decreciente, es decir, es el valor que deja el mismo número de datos antes y después que él al ser ordenados estos.

Sean X_1, X_2, \dots, X_n los datos ordenados en forma creciente, donde el subíndice indica que el dato X_i está en la posición i del grupo ordenado.

La definición de Mediana Muestral es:

$$\tilde{X} = \begin{cases} X_{\frac{n+1}{2}} & \text{si } n \text{ es par} \\ \frac{1}{2} \left(X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n+1}{2}} \right) & \text{si } n \text{ es impar} \end{cases}$$

2.2.4.4 Media Ponderada (o Promedio Ponderado)

Es el valor que se ajusta mejor a un conjunto de datos en que cada uno de ellos tiene una importancia relativa (o peso) respecto de los demás datos. Se obtiene multiplicando cada uno de los datos por su ponderación o peso y luego sumarlos para obtener una suma ponderada. Posteriormente se divide la suma ponderada entre la suma de los pesos.

La definición de Media (o Promedio) Ponderada (o) [29] es:

Para una serie de datos no vacía $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ a la que corresponden los pesos $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, la media ponderada se obtiene de la siguiente manera

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

2.2.5 Medidas de Variación o Dispersión

Están relacionadas con las medidas de tendencia central, ya que lo que pretenden es cuantificar cómo de concentrados o dispersos están los datos con respecto a estas medidas. Para este estudio, nos enfocamos principalmente en las medidas de dispersión asociadas a la media.

La idea de las Medidas de Variación o Dispersión es valorar en qué medida los datos están agrupados en torno a la media.

2.2.5.1 Rango

Diferencia entre el mayor y menor valor de los datos de la muestra

La definición de Rango es:

$$R = X_n - X_1$$

Donde X_i es el dato ordenado de menor a mayor ubicado en la posición i .

2.2.5.2 Varianza Muestral

Esta medida se basa en la cuantificación de las distancias de los datos con respecto al valor de la media. Por lo tanto, cuanto mayor sea la varianza de unos datos, más dispersos, heterogéneos o variables son. Por el contrario, cuanto más pequeña sea una varianza de unos datos, más agrupados u homogéneos son dichos datos.

La definición de Varianza Muestral es:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

2.2.5.3 Desviación Estándar Muestral

El principal problema de la varianza es su unidad de medida. Por cómo se define, la varianza corresponde al cuadrado de la unidad de medida original de los datos, por lo que se hace difícil valorar si una varianza es muy elevada o muy pequeña. La desviación estándar muestral, desviación típica o error muestral, está expresada en las mismas unidades de medición que los datos de la muestra y corresponde a la raíz cuadrada de la varianza.

La definición de Desviación Estándar Muestral es:

$$S = \sqrt{S^2}$$

2.2.6 Medidas de Posición

Son números que dividen el grupo de datos ordenados en grupos de aproximadamente igual cantidad de datos con el propósito de resaltar su ubicación. Existen varios tipos, como los Cuartiles, Deciles y Percentiles. Para este estudio se utilizan únicamente los Percentiles, por lo que son los únicos que vale la pena definir más acabadamente

2.2.6.1 Percentiles (o Porcentiles)

Son los cuantiles que dividen la muestra en 100 partes, es decir, son los cuantiles 0.01 (percentil 1), 0.02 (percentil 2),..., 0.99 (percentil 99). Si notamos por P_α al percentil α con $\alpha = 1,2,3, \dots, 99$ se tiene que $P_\alpha = Q_\alpha/100$.

2.2.7 Distribución de Probabilidad de Variables Aleatorias

Dentro de este estudio se vio que, para cada análisis en particular hay que determinar la distribución de los datos. Esto se hizo directamente del histograma o polígono de frecuencia, relacionando la forma en que distribuyeron los datos con distribuciones conocidas. Así, es necesario definir qué es una distribución de probabilidad.

Cada valor de una variable aleatoria (v.a.) puede asociarse con un valor de probabilidad. Si X es una v.a., entonces $P(X = x)$ representa la probabilidad de que la variable X tome el valor x . La correspondencia que define $P(X = x)$ es una función y se denomina distribución de probabilidad de la v.a. X .

Formalmente,

Sean X : Variable Aleatoria

$$f(x) = P(X = x) \text{ probabilidad que } X \text{ tome el valor } x$$

Entonces, la correspondencia

$$f(x): X \rightarrow IR$$

$$x \rightarrow f(x) = P(X = x), \text{ dom } f = X, \text{ rg } f \subset [0,1]$$

Es la distribución de probabilidad de la v.a. X .

Al ser f una distribución de probabilidad, su rango está en el intervalo $[0,1]$.

A lo largo del estudio, se vio que la mayoría de los datos distribuyen de modo similar a la distribución log normal, por lo que es esta la que se usa en el grueso de los resultados. Previamente se trabajó utilizando la distribución de Weibull [6][7], sin embargo, la distribución log-normal es la más utilizada en estudios relacionados con las estructuras de acero, por lo que se opta por esta opción por sobre la mencionada. De esta manera, se hace necesario definir la distribución Log Normal.

2.2.7.1 Distribución Log Normal

Se trata de la densidad de probabilidad de una variable log x distribuida según una función normal:

$$X = N(\mu, \sigma) \quad Y = e^X$$

Con este cambio de variable quedará:

Función de distribución: $G(y) = P(Y \leq y) = P(e^X \leq y) = P(X \leq \log y) = F(\log y)$

$$f(y) = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left(-\frac{(\log y - \mu)^2}{2\sigma^2}\right); \quad y > 0$$

Función de densidad : $g(y) = G'(y) = F'(\log y) \cdot (1/y)$

$$g(y) = \frac{1}{2\pi\sigma y} \exp\left(-\frac{(\log y - \mu)^2}{2\sigma^2}\right); \quad y > 0$$

A continuación se muestran unos gráficos de la función de distribución y de la función de densidad:

Función de densidad

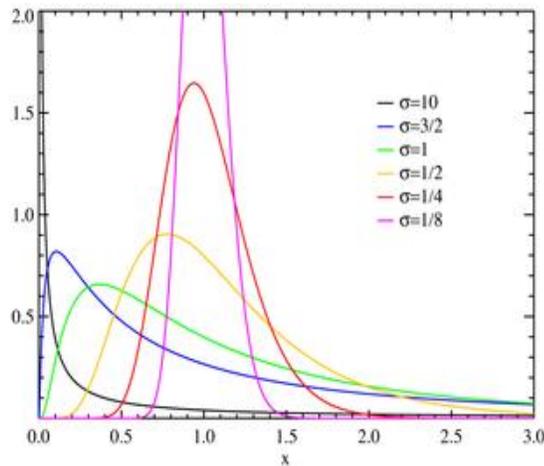


Gráfico N°1: "Función de densidad Log Normal"

Función de distribución

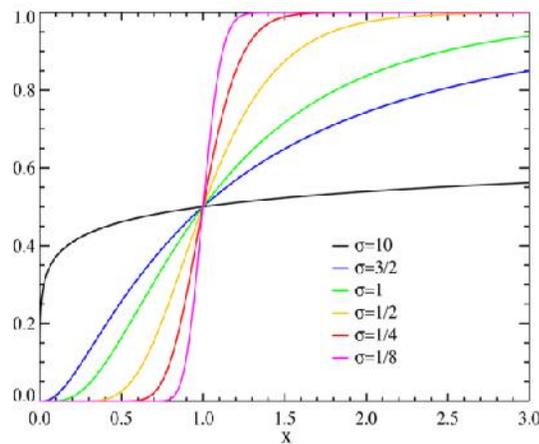


Gráfico N°2: "Función de distribución Log Normal"

Puede comprobarse que la mediana está comprendida entre la moda y la media y más cerca de la media que la moda, en particular, puede comprobarse que la mediana está casi dos veces más cerca de la media que de la moda.

La distribución log-normal es una probabilidad frecuentemente utilizada para expresar el comportamiento de observaciones con asimetría positiva, en donde la mayoría de los valores ocurren en las proximidades de un valor mínimo

2.2.7.2 Distribución de valor extremo generalizada

La distribución de valor extremo generalizada (GEV por su denominación en inglés) es una familia de distribuciones de probabilidad continuas desarrollada con la teoría del valor extremo para combinar la familia de Gumbel, Fréchet y Weibull, también conocidas como distribuciones de valor extremo tipo I, II y III. En algunos campos de aplicación, la GEV es conocida como la distribución Fisher-Tipett.

La función de distribución acumulativa es la siguiente.

$$F(x; \mu, \sigma, \varepsilon) = \exp \left\{ - \left| 1 + \varepsilon \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right|^{1/\varepsilon} \right\}$$

2.2.7.3 Distribución de Laplace

La distribución de Laplace es también conocida como la distribución doble exponencial, porque puede ser vista como dos distribuciones exponenciales unidas espalda con espalda, aunque el término "doble exponencial" también es utilizado algunas veces para referirse a la distribución Gumbel.

La función de densidad de probabilidad está dada por:

$$f(x|\mu, b) = \frac{1}{2b} \exp\left(-\frac{|x - \mu|}{b}\right)$$

$$= \frac{1}{2b} \begin{cases} \exp\left(-\frac{\mu - x}{b}\right) & \text{if } x < \mu \\ \exp\left(-\frac{x - \mu}{b}\right) & \text{if } x \geq \mu \end{cases}$$

Donde μ es un parámetro de localización y $b > 0$ que es algunas veces denominado como la diversidad.

CAPITULO 3: RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

3.1 Recopilación de Datos

Los datos fueron recopilados de distintas fuentes, las cuales proporcionaron sus certificados de ensayos de planchas de acero, obtenidos desde distintos orígenes y períodos tal como se propuso en un comienzo, obteniéndose datos de Brasil, China, Japón, Ucrania y Chile, repartidos en un espacio temporal correspondiente al período 2006-2012.

3.1.1 Fuentes de Datos

La mayoría de los resultados a continuación expuestos, están basados en la recopilación de datos realizada durante largo período en Metalúrgica Arrigoni, una de las maestranzas más importantes del país, la cual está capacitada para producir 2000 toneladas/mes en perfiles y estructuras de acero. Esta cantidad de acero se fabrica a partir de planchas de acero que se importan de distintos países dependiendo del stock de los mismos y del costo que estos implican para la empresa. Al tener tal cantidad de producción, se vuelve una de las fuentes más relevantes para el área de la construcción de estructuras de acero en el país, por lo que se adecúa fielmente a lo que se espera de este estudio. La maestranza facilitó las instalaciones y sus archivos de recepción de toneladas de planchas para poder realizar este estudio sin problema alguno, obteniéndose información fidedigna de recepción de planchas de acero de calidades ASTM A36 y ASTM A572 Gr 50 provenientes de Brasil, China, Japón y Ucrania durante el período 2006-2012. Los valores de las tensiones están en MPa.

Otra fuente importante de información corresponde al Acero CAP, los cuales fabrican sus propios elementos de acero a partir de materias primas nacionales. Fue necesario recurrir a esta fuente, pues la anterior depende netamente de materias primas internacionales que se insertan en el mercado local y este estudio se enfoca en producción nacional e importaciones, para poder describir de mejor manera lo que pasa a nivel de acero estructural en Chile. De esta forma, CAP envió cifras promedio de los

rollos laminados en caliente, separadas según 12 grupos de espesores nominales a lo largo de un período de campañas de laminación correspondiente al año 2006 hasta Junio de 2013. Los valores enviados por CAP no tienen dimensiones, sin embargo, se obtiene de la Norma NCh 203 “Acero para uso estructural – Requisitos” [30] que los valores de las tensiones están en kgf/mm^2 .

Para registrar la información obtenida de los certificados de ensayos se utilizó un formato estandarizado, el cual se muestra a continuación:

Tabla N°2: “Formato Estándar Recopilación de Datos”

Size [mm]					Mechanical Properties		
a	b	Thickness	No. Of pieces	Weight [M T]	YS [MPa]	TS [Mpa]	EL [%]
2440	12000	28	8	51,486	240,0	475,0	23,5

En la tabla, se indican como a y b las dimensiones de la plancha de acero, “thickness” es el espesor de la plancha, la cantidad de piezas que se tienen, el peso teórico de la plancha (tomando un peso unitario del acero de 7.85 ton/m^3) y las propiedades mecánicas que son de interés del estudio, es decir, tensión de fluencia, tensión de rotura y la elongación porcentual al momento de la rotura.

Cabe destacar que la mayoría de los certificados muestran que los resultados de los ensayos se obtienen mediante ensayos de tracción (Tensile Test), cuyas dimensiones de las probetas no vienen especificadas. La única fuente que tiene dos ensayos distintos para sus probetas son los certificados de acero provenientes de Ucrania, los cuales además del ensayo de tracción hacen un ensayo de impacto (Impact Test) y los certificados incluyen ambos resultados.

3.1.2 Criterios de Investigación

- El objetivo del estudio y la población de interés fueron explicados con anterioridad.
- El tamaño de la muestra no fue determinado de manera premeditada, dado que se trató de contar con la mayor cantidad de datos posibles, sin poner un límite superior para ello. Por tanto, la Fluencia y Rotura esperadas pueden tener una gran cantidad de observaciones para la determinación de los valores de los coeficientes.
- El tipo de muestreo se realizó de acuerdo a los cánones de la investigación, es decir, considerando planchas y perfiles de acero que se utilicen en Chile actualmente, sean estos importados o de fabricación nacional y que tengan su respectivo certificado de calidad que acredite que cumple con los parámetros mínimos requeridos.

3.1.3 Tipos de Datos

Para este estudio, se obtuvieron siempre datos del tipo cuantitativos continuos, debido a que los valores de las resistencias reales obtenidas de los certificados de calidad, pueden tomar cualquier valor positivo

3.1.4 Descripción de Conjuntos de Datos

La descripción de los resultados obtenidos para el estudio, se hicieron mediante las tres formas posibles, es decir, se tienen tablas, gráficos y números que representan lo que se investiga.

3.2 Análisis de Datos

El análisis de los datos se centra en varias categorías de acuerdo a los objetivos que tiene este estudio. Se hace hincapié en las distintas formas de ver los coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados, acorde a la calidad del material, al país de origen y al año en que se compraron las planchas para ser puestas en el mercado en forma de perfiles y estructuras de acero en general.

3.2.1 Obtención de Coeficientes de Rotura y Fluencia Esperados

Se procedió a tener dos valores promedio de las observaciones, como son la Media Aritmética (promedio simple del total de datos) y, además, se calculó el Promedio Ponderado de las observaciones, tomando cada uno de los datos y utilizando el peso de las planchas de acero, de modo de tener una idea de qué tan representativo es este promedio comparado con la cantidad de toneladas que se utilizan en el país para construir estructuras con estas características.

Ciertamente, para cualquier estudio estadístico se hace importante contar con el promedio de las observaciones, pero también es relevante el conocer la mediana y qué tan distante se encuentra la misma del promedio. Para ello, se tomó la mediana y se calculó el porcentaje que representa la Mediana del Promedio (sea este la Media o el Promedio Ponderado), siendo este valor el que se considera para saber si efectivamente la mediana es similar o no al promedio de estudio.

Posteriormente, se procede a obtener el valor del percentil 84, el cual es frecuentemente considerado en los estudios que le competen al acero y se hace relevante para estas ocasiones, porque en general es muy similar al valor promedio más una desviación estándar, que es lo que se requiere en este estudio. Es más, cuando la distribución es una Normal el Percentil 84 es exactamente el promedio más una desviación estándar. Para una Log-Normal si bien no es el valor exacto, es muy similar.

Por medio del histograma se puede determinar la distribución de frecuencias a la que corresponde la distribución observada. Con el valor teórico de la distribución, se puede determinar el valor de la media y desviación estándar que cumplirán con el objetivo del estudio.

Por último, se calcula el valor de R_y y R_t de acuerdo a la definición de Coeficiente de Resistencia Esperada (donde F_{ex} es la resistencia x esperada):

$$F_{ey} = R_y \cdot F_y$$

$$F_{et} = R_t \cdot F_t$$

Por lo tanto, los valores de los coeficientes se obtienen de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R_y = \frac{F_{ey}}{F_y}$$

$$R_t = \frac{F_{et}}{F_t}$$

Donde la resistencia esperada es el valor (promedio más una desviación estándar) que se obtiene en el transcurso del estudio para cada caso.

3.2.2 Análisis estadístico de los resultados

El análisis estadístico respectivo se hace considerando la amplia gama de observaciones obtenidas, clasificándolas en intervalos tal como se mostró en 2.2., los cuales fueron denominados con números consecutivos del 1 al 20. En las tablas de resultado, se muestra el intervalo modal seguido por su correspondiente nomenclatura entre paréntesis. De esta manera, se obtuvo el histograma de Fluencia y Rotura Esperadas para cada uno de los grupos de datos que se tienen, los cuales son presentados en forma de dispersión y con línea de tendencia polinómica que aclara la forma de la distribución. Claramente cada estudio es distinto, por lo que en un par se pudieron encontrar distribuciones coherentes y en otras no fue posible. En aquellos en que se pudo hacer, se estableció la distribución a considerar y se hizo una comparación con el modelo obtenido y la similitud que tiene con la distribución original. Para ello, se tomó la ecuación de línea de tendencia polinómica del modelo de distribución de probabilidad considerando una ojiva en que en la ordenada se ven las frecuencias relativas acumuladas y se comparó gráficamente con la distribución de frecuencias a la que se hace similitud, para mostrar si efectivamente existe o no una correlación entre ambos.

A continuación, se hace un muestreo general de resultados obtenidos y una breve reseña en caso de ser necesaria. Los resultados a considerar son expuestos en tablas y/o gráficos de acuerdo a la necesidad, tomando en cuenta que los gráficos de fluencia se muestran con observaciones en azul y los de rotura en rojo.

3.3 Resultados Obtenidos

El estudio tiene muchas aristas, por lo tanto, es necesario contar con todas las opciones posibles de análisis de datos. Para cumplir con ello, se muestran diferentes interpretaciones de los resultados, los cuales se dividen en: Resultados de acuerdo a la calidad del acero, al país de origen y al período temporal en que fueron introducidos los elementos de acero correspondientes al mercado nacional.

Todos los resultados fueron obtenidos en modo digital (Microsoft Excel) y son muchos como para ponerlos en la memoria, por lo que se mostrarán sólo tablas y gráficos con resultados. El análisis uno por uno, están en manos del profesor guía en modo digital.

3.3.1 Resultados según calidad de Acero

La primera manera en que se explicitan los resultados es según la calidad de Acero. Se recopilaron datos de aceros del tipo ASTM A36, ASTM A572 Gr 50, A270ES y A375ES. Los resultados se exponen en estricto orden de acuerdo a lo mencionado.

3.3.1.1 Planchas de acero ASTM A36

Es sin dudas la calidad de acero más utilizada, por lo que también fue la que concentró la mayor cantidad de datos recopilados debido a que se trata de la calidad de acero que tiene la mayor tasa de importación. Las planchas de acero de esta calidad se traen en grandes volúmenes año a año a nuestro país procedente de variadas fuentes, como Japón, Brasil, China y Ucrania. Los resultados mostrados a continuación corresponden a todo origen y año del acero.

Tabla N°3: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A36”

ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	306,9	458,6
Promedio Ponderado	306,1	458,3
Mediana	303,4	455,0
Intervalo Modal	[295,306[(6)	[440,450[(5)
Desviación Estándar	28,80	26,42
Diferencia Mediana y Media	1,15%	0,78%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	0,88%	0,72%
Valor Percentil 84	335	490

La Tabla N°3 muestra los valores de las medidas de tendencia central y de dispersión para las Planchas de acero ASTM A36. Se puede notar que las medidas de tendencia central son similares, por lo que se asegura la normalidad de la distribución.

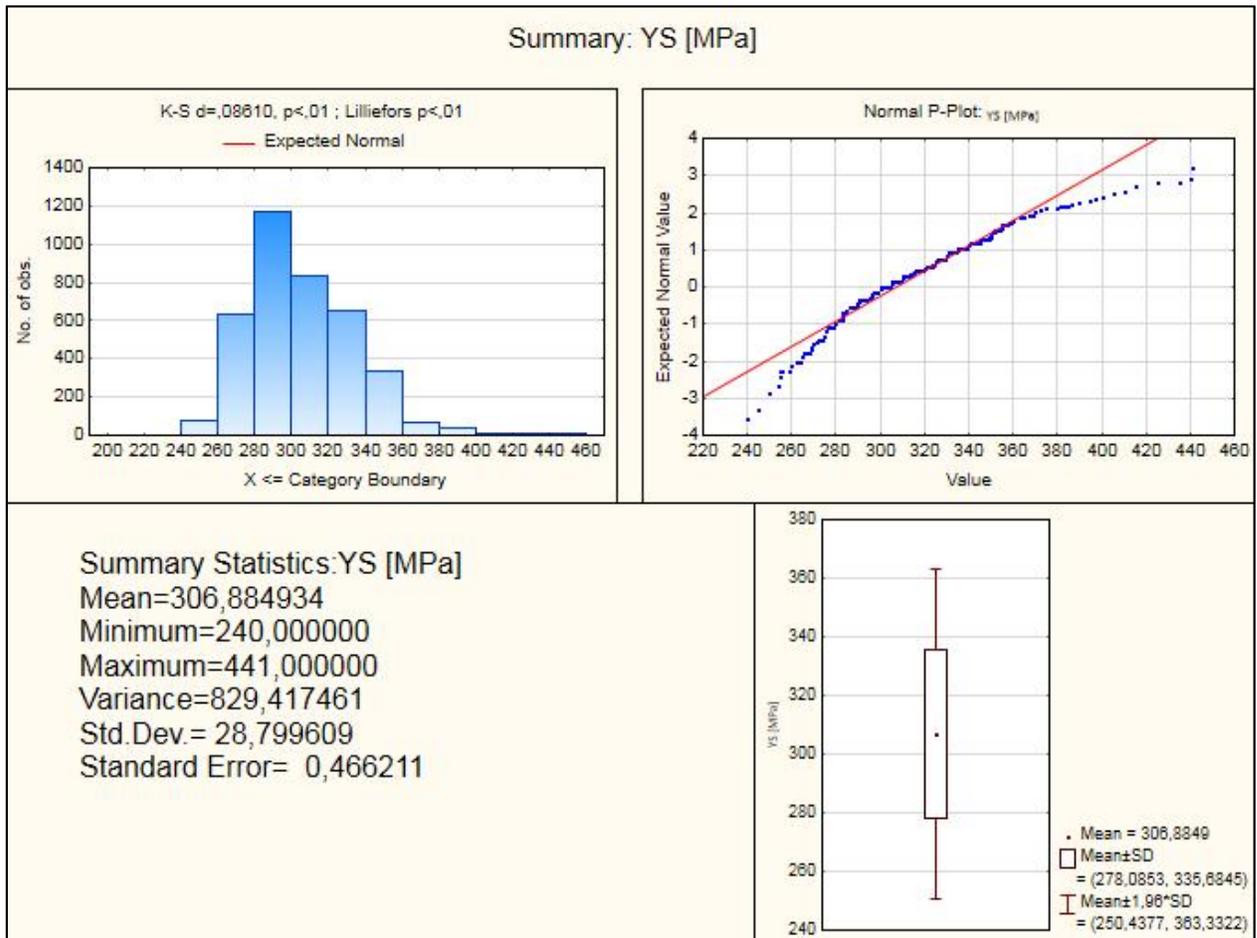


Gráfico N°3: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36”

Del gráfico N°3 se puede apreciar claramente lo que se explicita en la Tabla N°3, es decir, que el intervalo modal es el intervalo [280, 300[. En el Normal P-Plot se observa una tendencia logarítmica con respecto a la línea de normalidad esperada.

Posteriormente se obtuvo la distribución de probabilidad esperada para la fluencia, tomando en cuenta al menos dos distribuciones conocidas similares a la distribución observada, de tal modo de entregar una mejor aproximación de la misma.

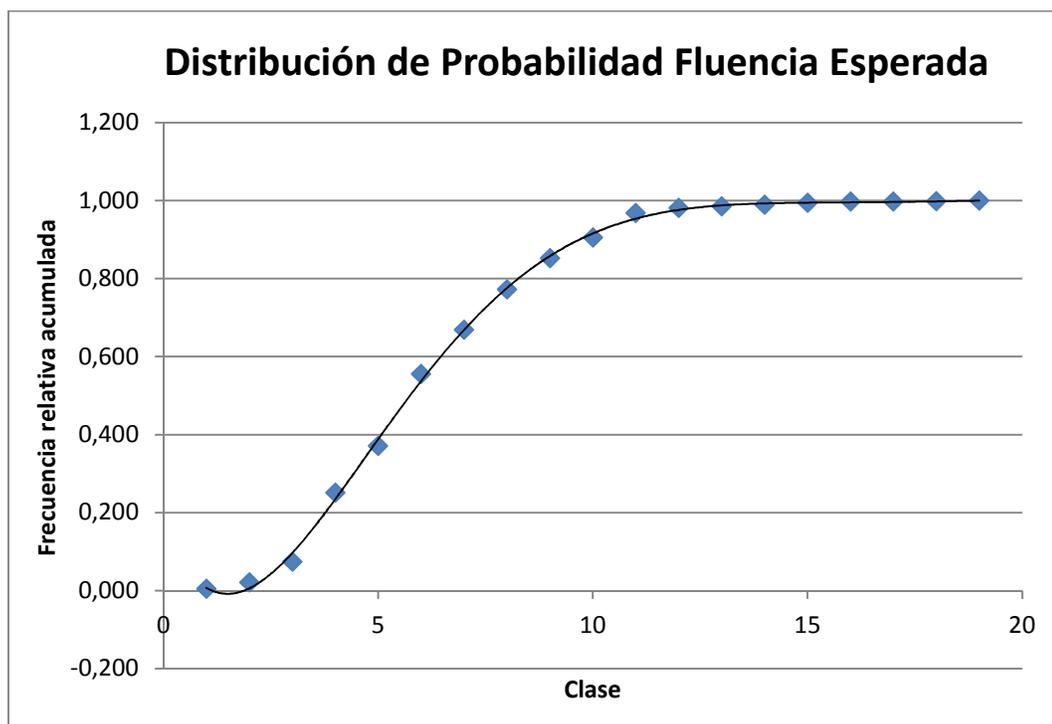


Gráfico N°4: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36"

La ojiva del gráfico n°4 muestra la distribución de frecuencia relativa acumulada para el caso de Fluencia Esperada

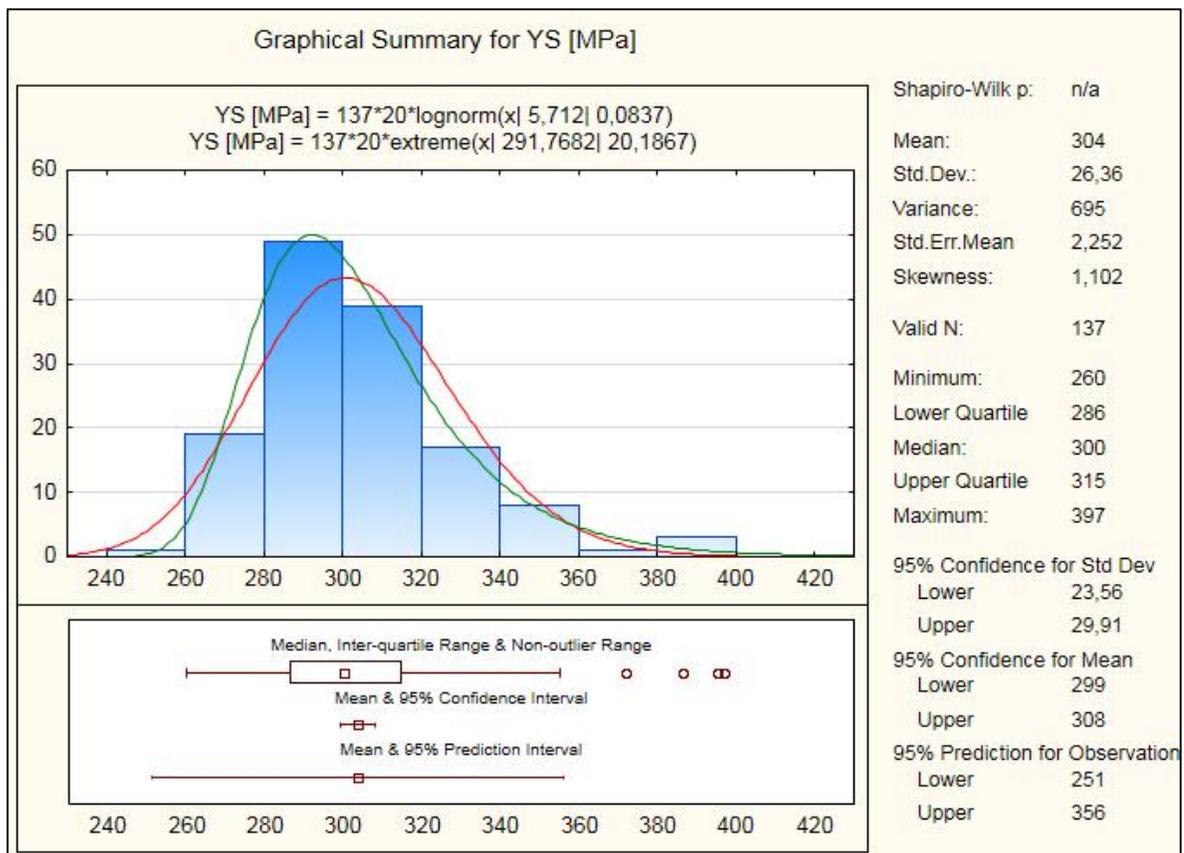


Gráfico N°5: “Determinación Distribución de Frecuencia teórica, Fluencia ASTM A36”

El histograma a priori mostraba una distribución similar a una Normal, por lo que se ocupó en primera instancia una log normal (rojo) para el ajuste, pero se ve que la extrema (verde) se ajusta mejor en este caso. Ambas fueron obtenidas mediante software especializado. De esta manera, se privilegia este valor para ello.

Posteriormente, se hizo el análisis para el caso de rotura.

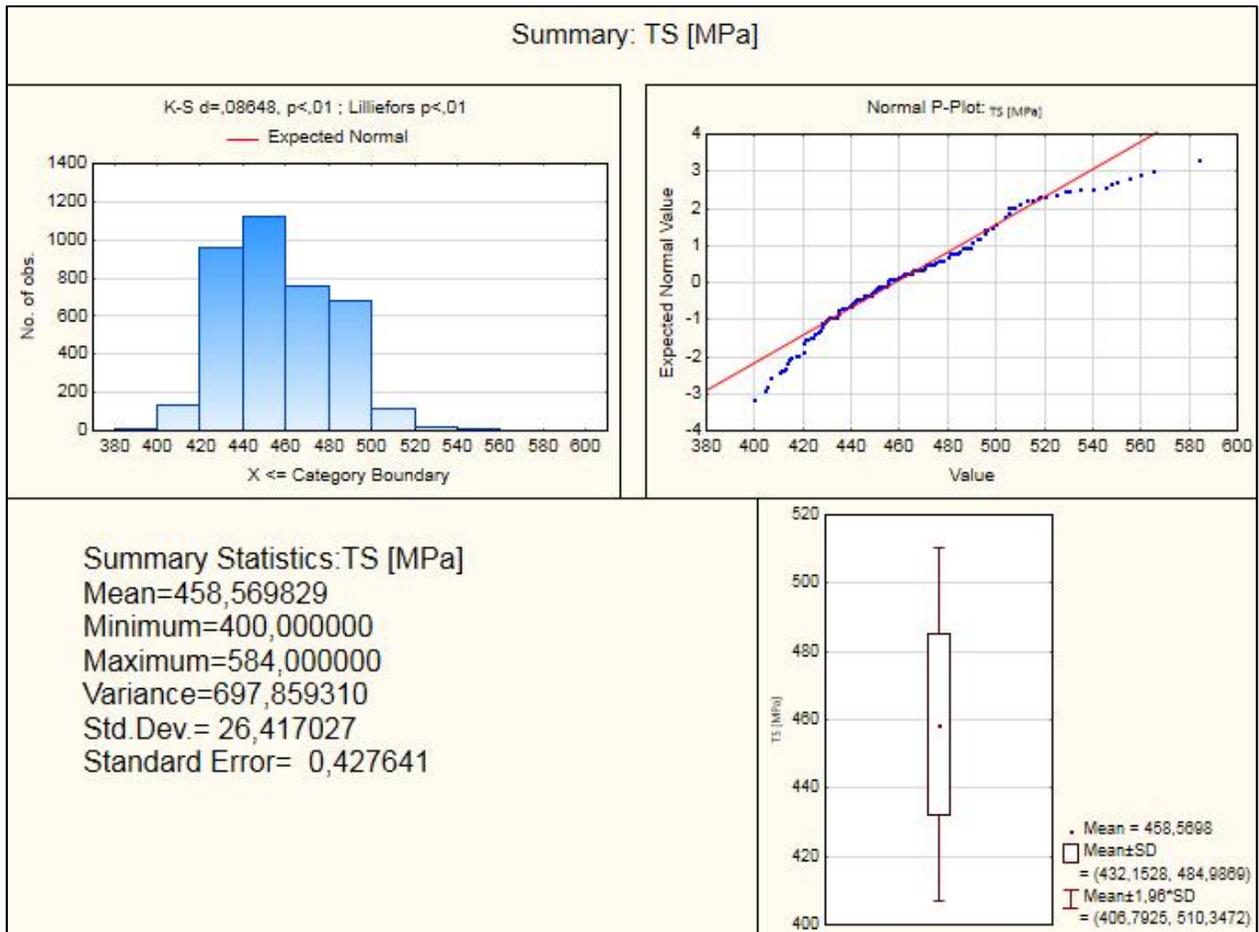


Gráfico N°6: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36"

Los valores de tendencia central obtenidos se condicen con los de la tabla resumen. Además, la curva del Normal P-Plot tiene curvatura similar a la de un logaritmo. Por último, el promedio está en el rango indicado con 95% de confianza.

Análogo a lo anterior, se obtiene la distribución de probabilidad y se comparan distribuciones empíricas y reales para el caso de la rotura.

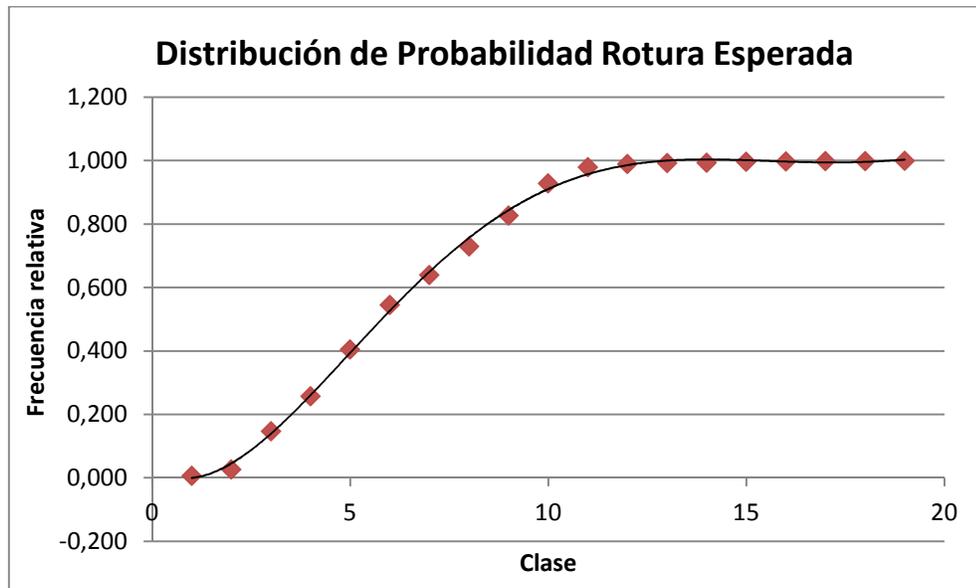


Gráfico N°7: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36"

Se aprecia en el Gráfico N°7 que la curva modelada se ajusta a lo encontrado en la práctica.

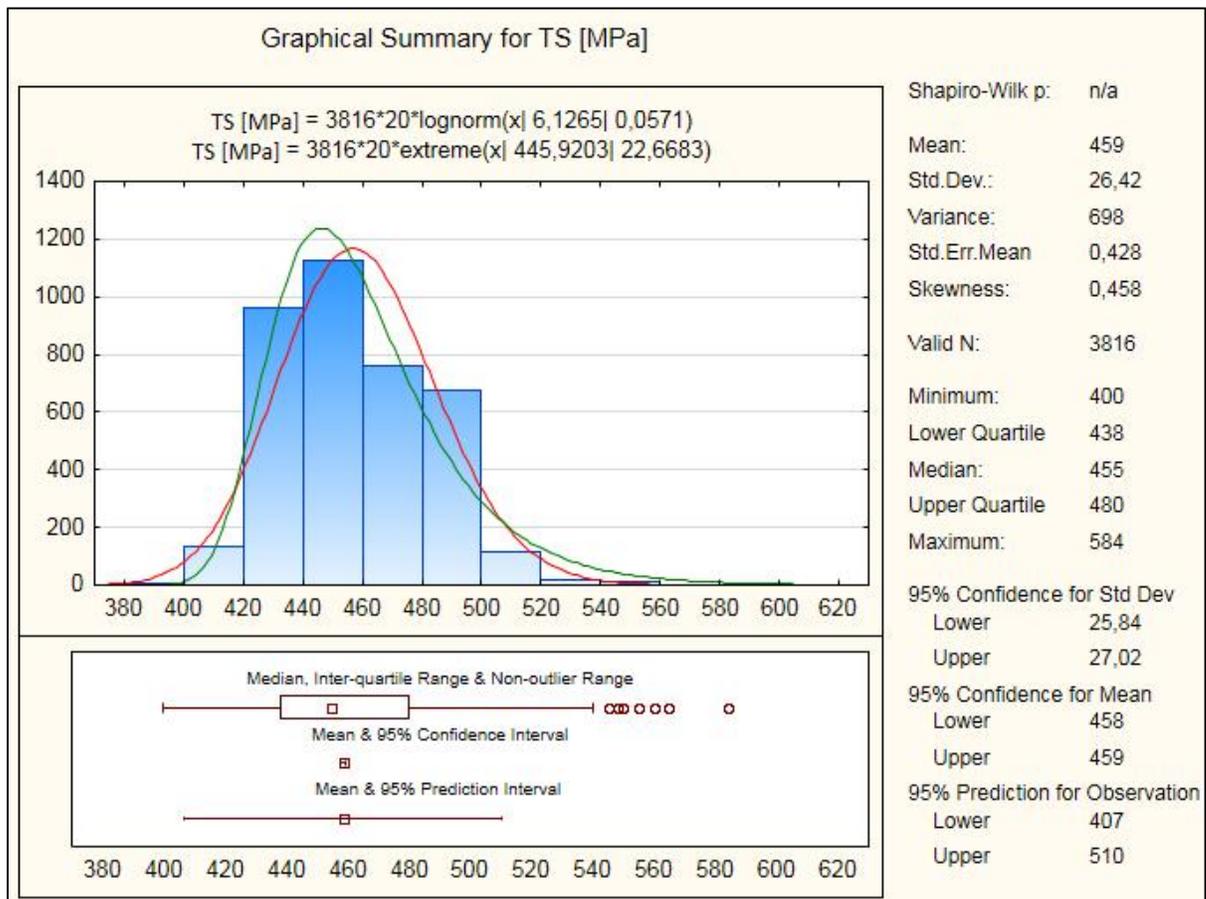


Gráfico N°8: "Determinación Distribución de Frecuencia teórica, Rotura ASTM A36"

La distribución del Gráfico N°8 se compara con dos distribuciones conocidas. La primera es la distribución log-normal (rojo) y la segunda es la distribución extrema (verde). Se aprecia del gráfico que ambas se ajustan bastante bien a la distribución observada, pero la log normal explica de mejor forma lo que sucede con valores mayores, por lo que se opta por ella para explicar el fenómeno en estudio.

De esta manera, se puede calcular definitivamente el valor de los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para el acero calidad ASTM A36.

Tabla N°4: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36”

ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,34	1,18
R Promedio Ponderado	1,34	1,18
R Percentil 84	1,34	1,20

Los valores mostrados como “R Promedio”, “R Promedio Ponderado” y “R Percentil 84” en la Tabla N°4 corresponden a los valores de Resistencia Esperada *R* de acuerdo a las mencionadas condiciones de cálculo

En adelante, se entregan los resultados obtenidos siguiendo este formato de presentación, salvo que no se ocupan ciertas generalidades de procedimiento, sino que se muestran los gráficos directamente dado que ya se conoce cómo se obtienen.

3.3.1.2 Planchas de acero ASTM A572 Gr 50

La segunda calidad de acero que se importa con mayor regularidad es el ASTM A572 Gr 50, el cual se ocupa únicamente en casos particulares en que es solicitado expresamente por Ingeniería Estructural. Las planchas de acero de esta calidad llegan al país proveniente de China y Ucrania principalmente. Los resultados mostrados a continuación corresponden a todo origen y año del acero.

Tabla N°5: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A572 Gr 50”

ASTM A572 Gr 50	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	345,0	450,0
Media	410,0	561,0
Promedio Ponderado	406,8	559,2
Mediana	414,5	560,0
Intervalo Modal	[409,418[(12)	[560,566[(11)
Desviación Estándar	27,02	21,44
Diferencia Mediana y Media	1,09%	0,17%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	1,89%	0,15%
Valor Percentil 84	435	580,5

De la tabla N°4 se ve que la diferencia de la Media y Mediana es pequeña (al igual que para el Promedio Ponderado y la Mediana), además que se encuentran dentro o muy cerca de los intervalos modales. De esta manera, se cumple la normalidad de la distribución de frecuencias.

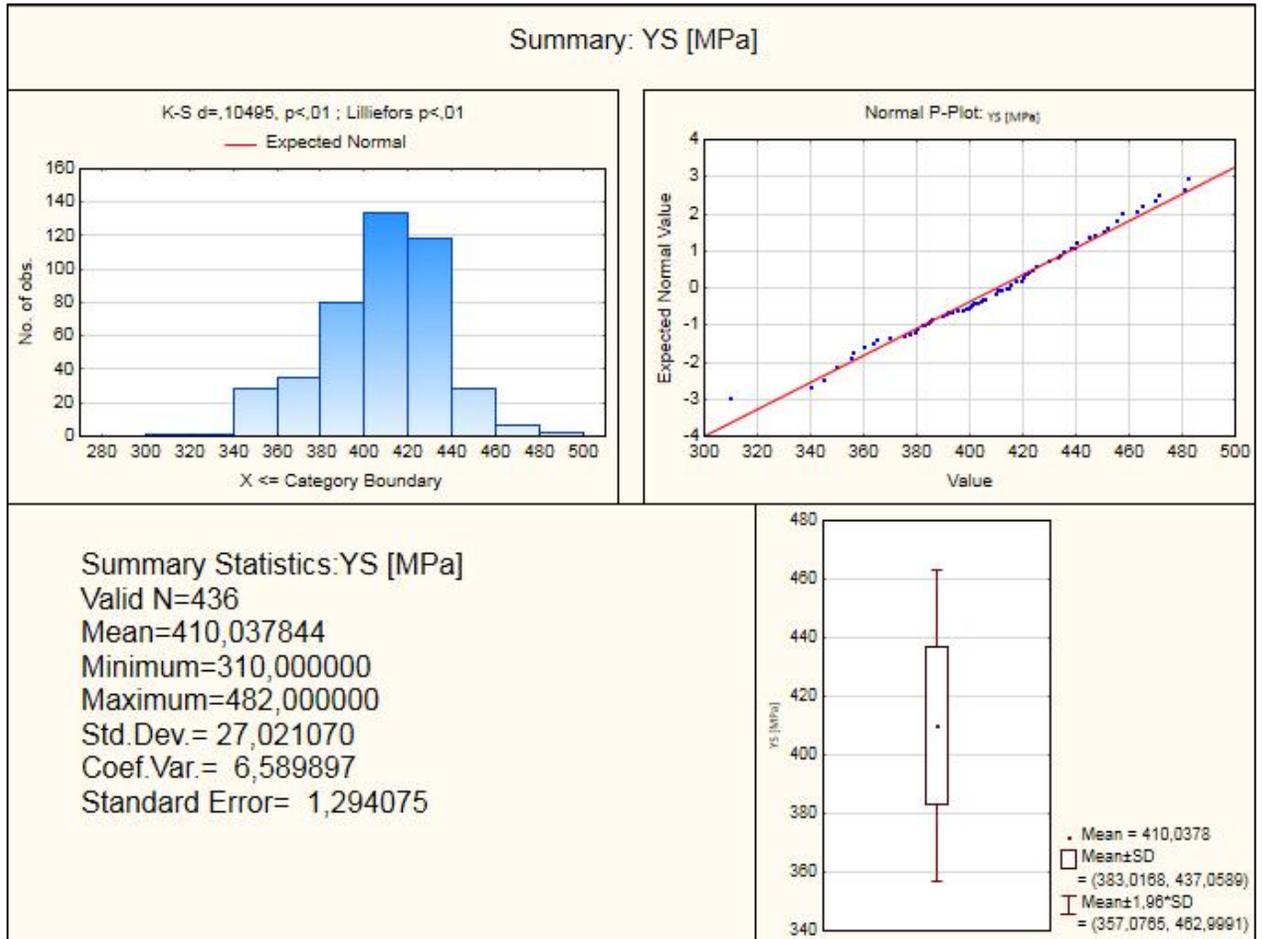


Gráfico N°9: “Histograma Fluencia Esperada Acero Calidad ASTM A572 Gr 50”

En el Gráfico N°11 se aprecia la forma de la distribución y se condice con lo que se pudo ver en la Tabla N°4. Existe similitud de la distribución de frecuencias obtenida mediante un modelo polinómico y la distribución Normal. Al ser todos los valores mayores que cero, es mejor analizar estos casos con la distribución Normal directamente, lo que se puede ver en el Normal P-Plot, donde el valor de distribución normal esperada es muy similar al observado.

La ojiva de distribución de probabilidad es la siguiente:

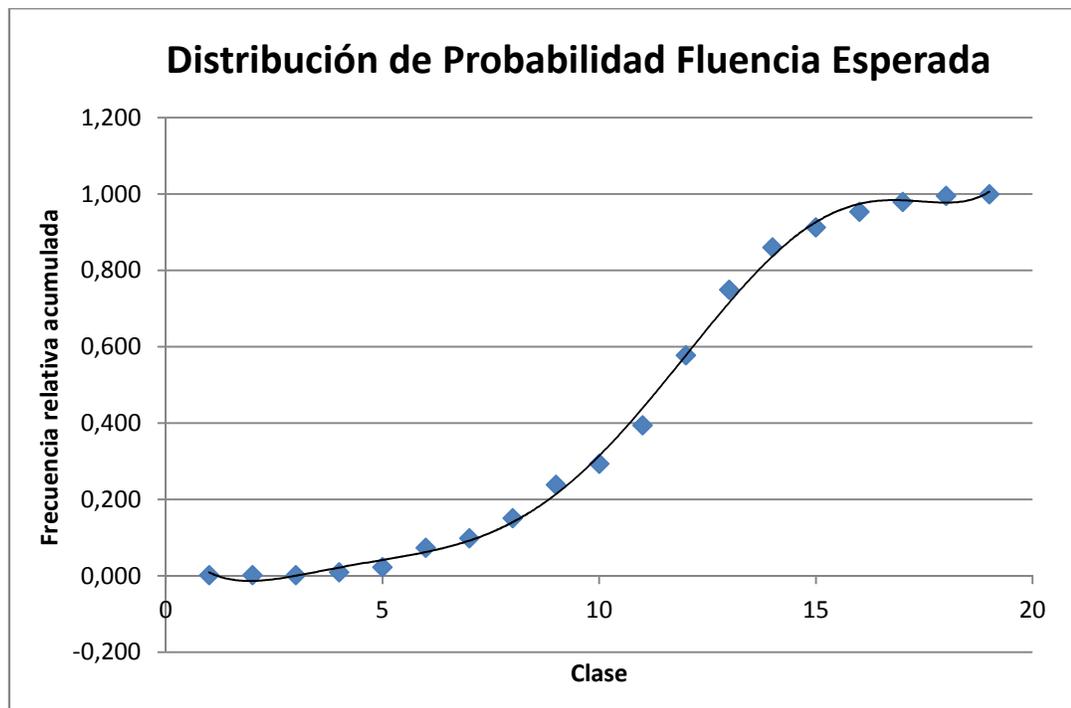


Gráfico N°10: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero Calidad ASTM A572 Gr 50"

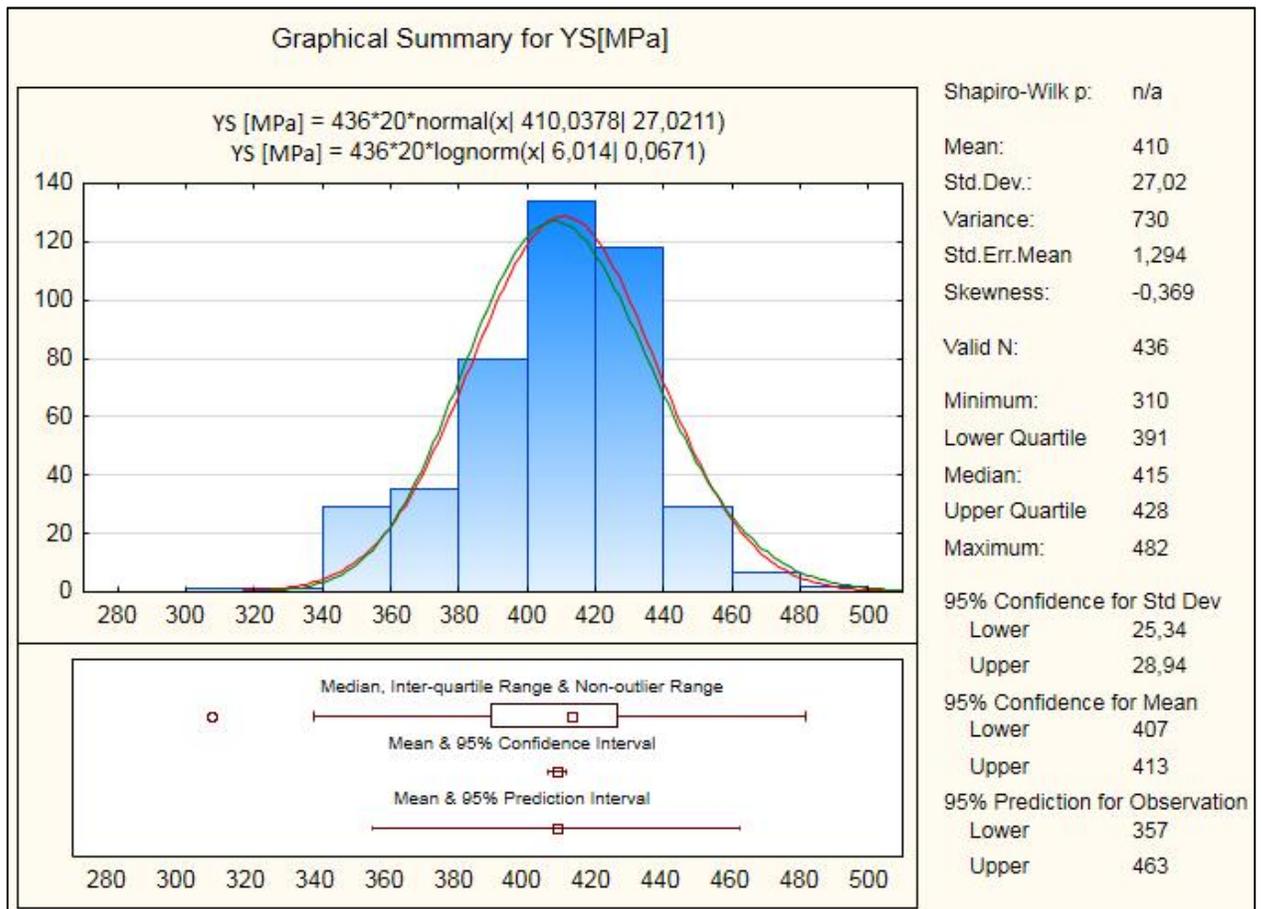


Gráfico N°11: "Determinación Distribución de Probabilidad teórica, Fluencia ASTM A572 Gr 50"

La distribución del Gráfico N°13 confirma que la distribución Normal (rojo) es suficiente para este caso, por lo que los datos observados son directamente los valores que se necesitan para el estudio. El contraste se hizo con la distribución log-normal (verde) y se ve que son bastante similares, por lo que no es necesario utilizar ésta última al determinar los coeficientes de fluencia y rotura esperados.

A continuación, se hace la analogía con los datos obtenidos para los datos de tensión esperada de rotura.

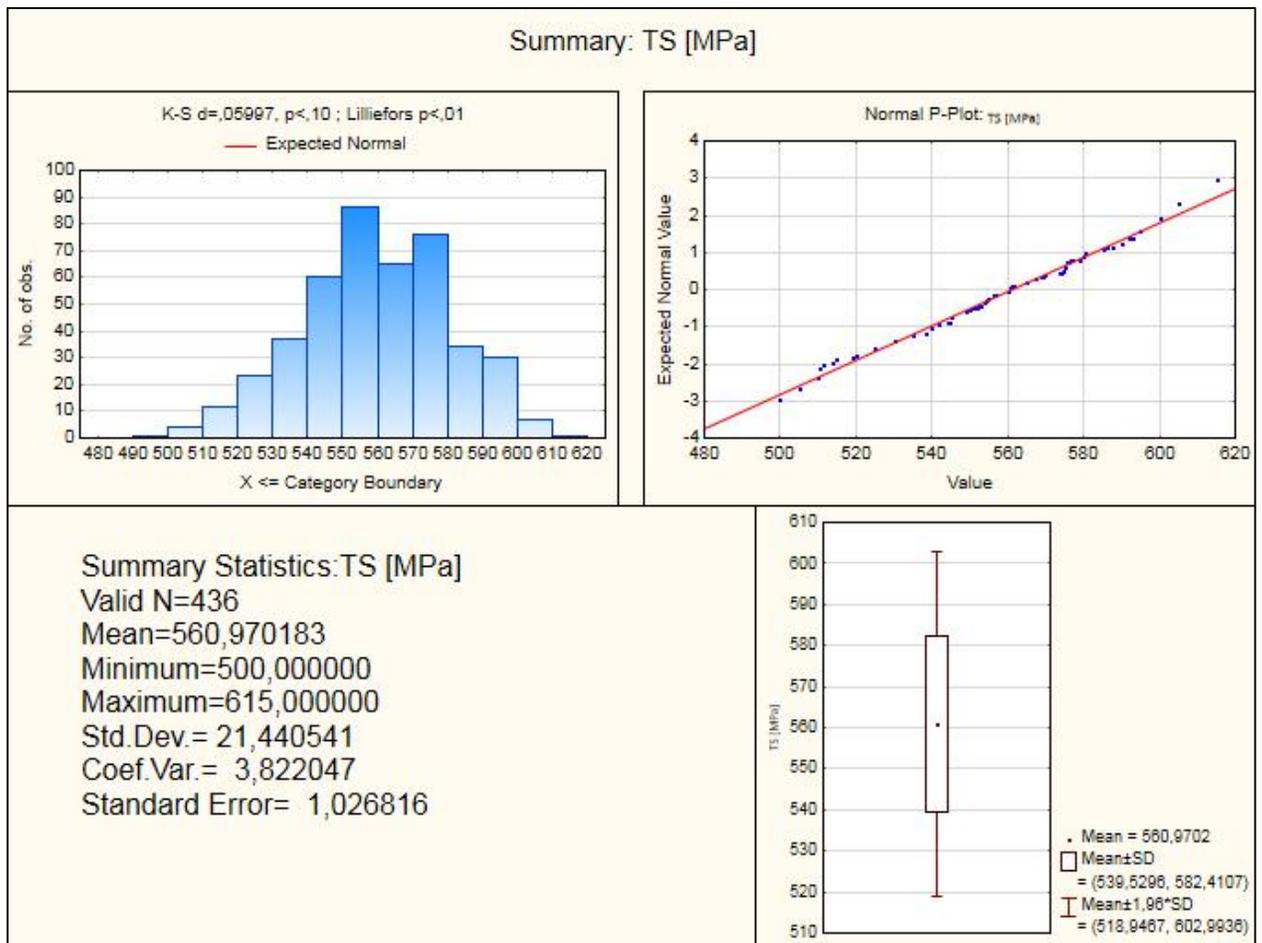


Gráfico N°12: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50"

El Gráfico N°15 muestra una clara tendencia de los valores a agruparse entre los intervalos N°10 y N°13 y la Tabla N°5 entrega normalidad. El gráfico Normal P-Plot entrega una clara tendencia de los valores observados a distribuir normalmente también. Sin embargo, no es suficiente sólo parecerlo, por lo que se muestra a continuación el ajuste que tienen los valores observados con respecto a los esperados.

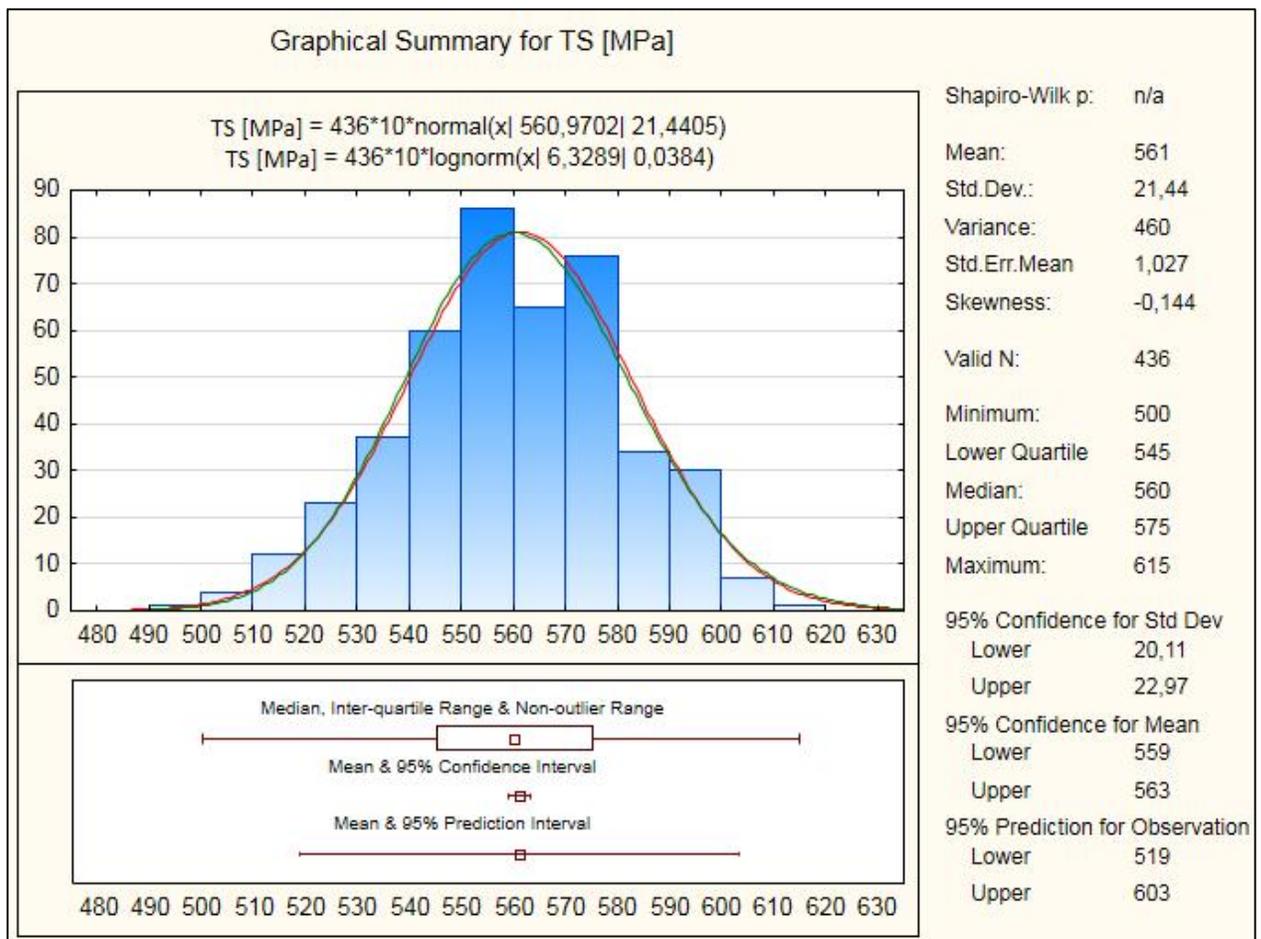


Gráfico N°13: “Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50”

El gráfico N°13 corrobora que la distribución normal se condice con los valores observados, por lo que los coeficientes se calculan directamente.

Así, los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados que se encontraron en este caso, son los siguientes.

Tabla N°6: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A572 Gr 50”

ASTM A572 Gr 50	R _y	R _t
R Promedio	1,27	1,29
R Promedio Ponderado	1,26	1,29
R Percentil 84	1,26	1,29

3.3.1.3 Rollos Laminados en Caliente A270ES

Los datos obtenidos para rollos laminados en caliente calidad A270ES y A345ES (sección 3.3.1.4), tienen la particularidad que se recopilaron únicamente promedios de tensiones de fluencia y rotura observadas para los distintos años mencionados en 3.1.1. Ante ello, no quedó otra opción que calcular los valores de los Coeficientes R_y y R_t

directamente de las tablas de datos. Lamentablemente, no se tiene mayor conocimiento de los valores de la desviación estándar de los datos, por lo que los coeficientes calculados incluyen únicamente el valor del promedio.

Así, los valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados quedan determinados por las siguientes cifras:

$$R_y = 1.25$$

$$R_t = 1.15$$

3.3.1.4 Rollos Laminados en Caliente A345ES

Tal como se dijo en 3.3.1.3, los valores de los Coeficientes de Resistencia Esperada se obtienen directamente como el promedio de los valores entregados por CAP.

$$R_y = 1.26$$

$$R_t = 1.14$$

3.3.2 Resultados según País de Origen

El País de origen del acero que se importa al país tiene relevancia dado que es potencialmente factor de inducción a error. Cada país mostrado a continuación tiene sus propios métodos y estándares para controlar el funcionamiento de las estructuras y, por tanto, sus planchas de acero o rollos laminados en caliente son manufacturados bajo distintos patrones, materiales y requerimientos físico-químicos. Los países de los que mayormente se importan planchas de acero son Brasil, Japón, China y Ucrania.

3.3.2.1 Planchas de Acero ASTM A36 importadas de Brasil

En esta sección se muestran los resultados obtenidos para los certificados de planchas de acero importadas desde Brasil, país desde el cual se traen únicamente planchas de calidad ASTM A36 durante el período 2006-2012, por lo que el siguiente análisis se hizo considerando esta situación. Las planchas son fabricadas por Usiminas[9] y Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA)[21] y enviadas posteriormente a nuestro país. Además, la disminución de la cantidad de observaciones hace que el número de intervalos se vea reducido. Así, los valores obtenidos para Brasil fueron los siguientes.

Tabla N°7: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Brasil”

BRASIL ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	303,6	459,8
Promedio Ponderado	301,7	460,2
Mediana	299,1	457,0
Intervalo Modal	[302,316[(4)	[447,457[(3)
Desviación Estándar	26,36	17,63
Diferencia Mediana y Media	1,49%	0,60%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	0,87%	0,69%
Valor Percentil 84	328,7	473,0

Se aprecian bajas diferencias entre los valores de tendencia central. Sin embargo, el intervalo modal no corresponde en la mayoría de los casos a los valores de las medias y mediana. Aun así, la diferencia entre ellos es mínima.

En el caso de Resistencia de Fluencia Esperada, se obtuvieron los siguientes resultados.

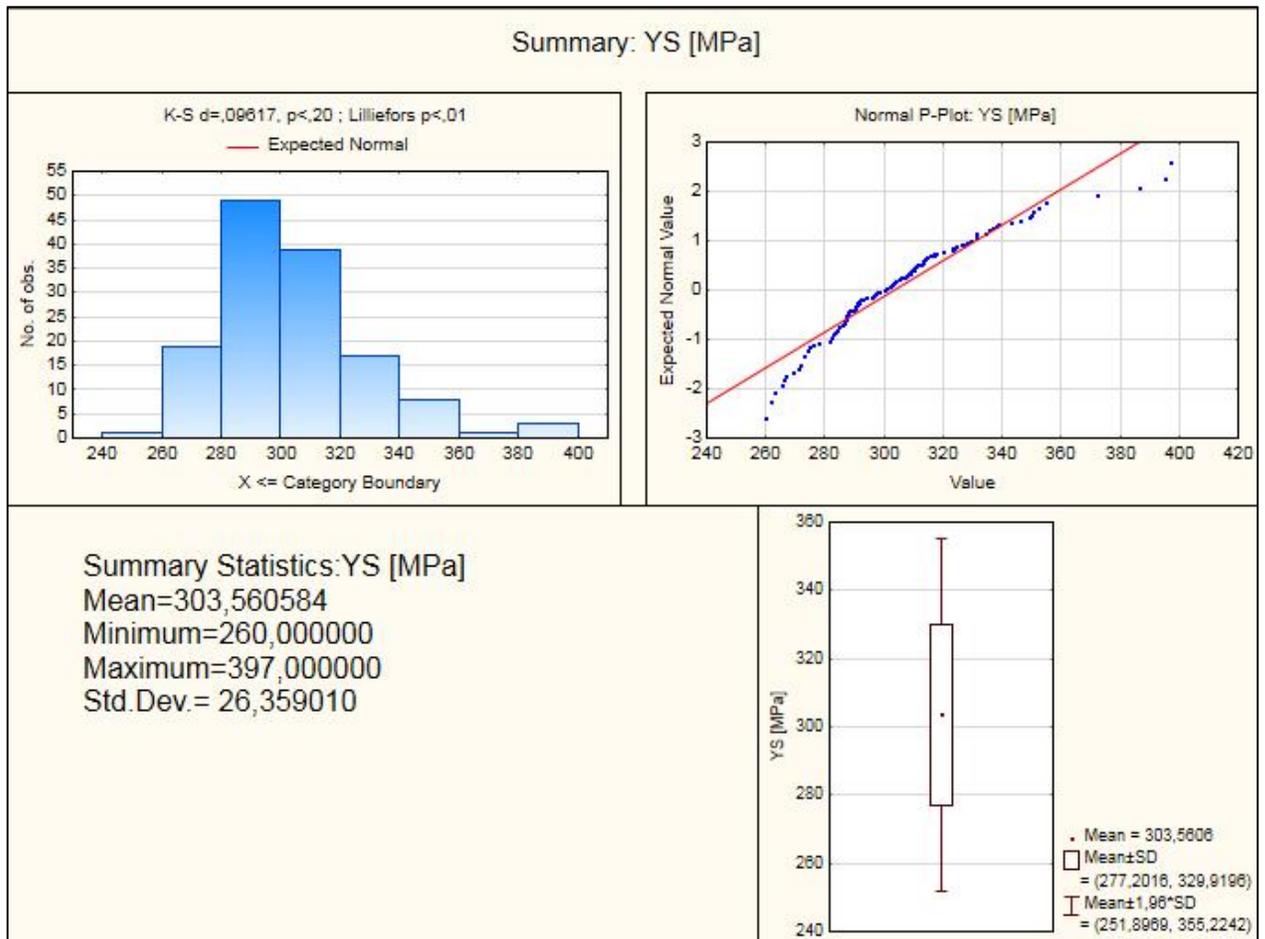


Gráfico N°14: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Brasil”

Se ve en el Gráfico N°14 que las medidas de tendencia central obtenidas mediante el software se condicen con las de la tabla N°7. Aun así, estos valores obtenidos no aseguran la normalidad de la distribución, por lo que se debe estudiar una distribución alternativa.

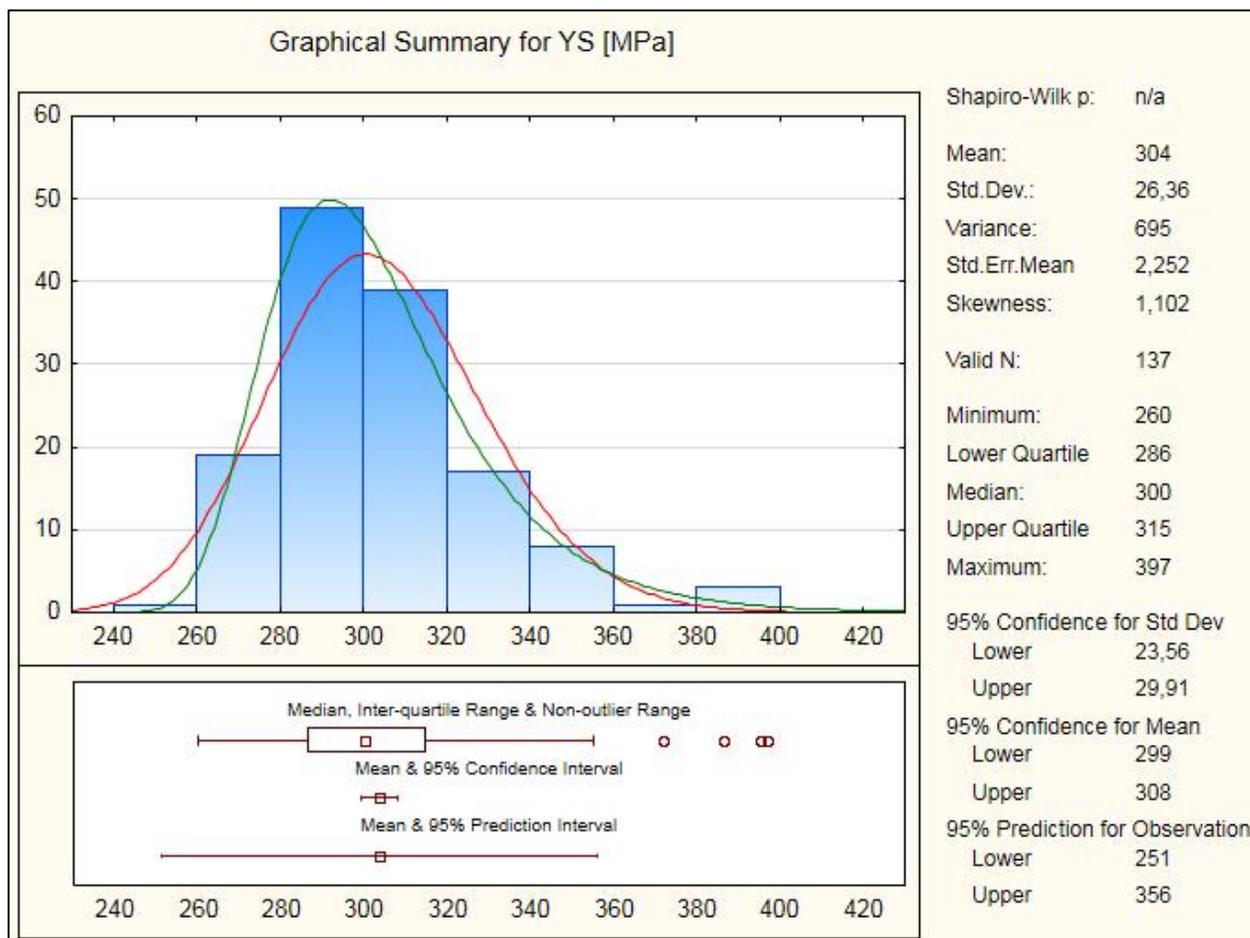


Gráfico N°15: “Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Brasil”

El Gráfico N°15 muestra la comparación de la distribución obtenida con una distribución Log-Normal (rojo) y una Extrema (verde) siendo notoriamente la segunda la que tiene un mejor grado de ajuste. Por lo tanto, se considera como válida esta última.

Se hace el estudio análogo para el caso del Coeficiente de Rotura Esperado.

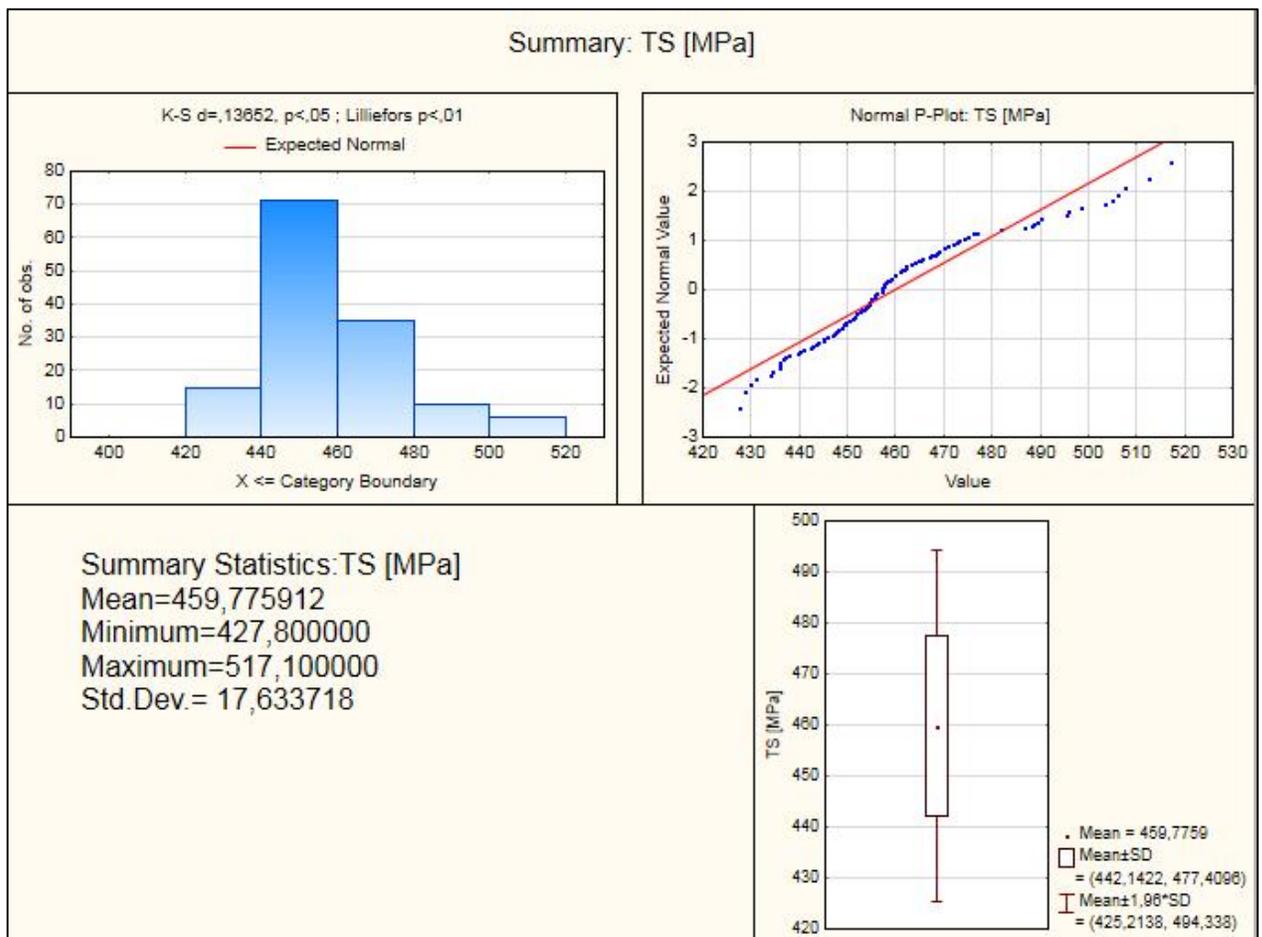


Gráfico N°16: “Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Brasil”

Se ve claramente en el Gráfico N°16 que los valores de tendencia central tienen relación con los valores de la tabla n°7. En principio, se ve una similitud de la distribución de los datos con una N-Log. Incluso, en el p-plot se ve similitud entre la normal y la distribución observada.

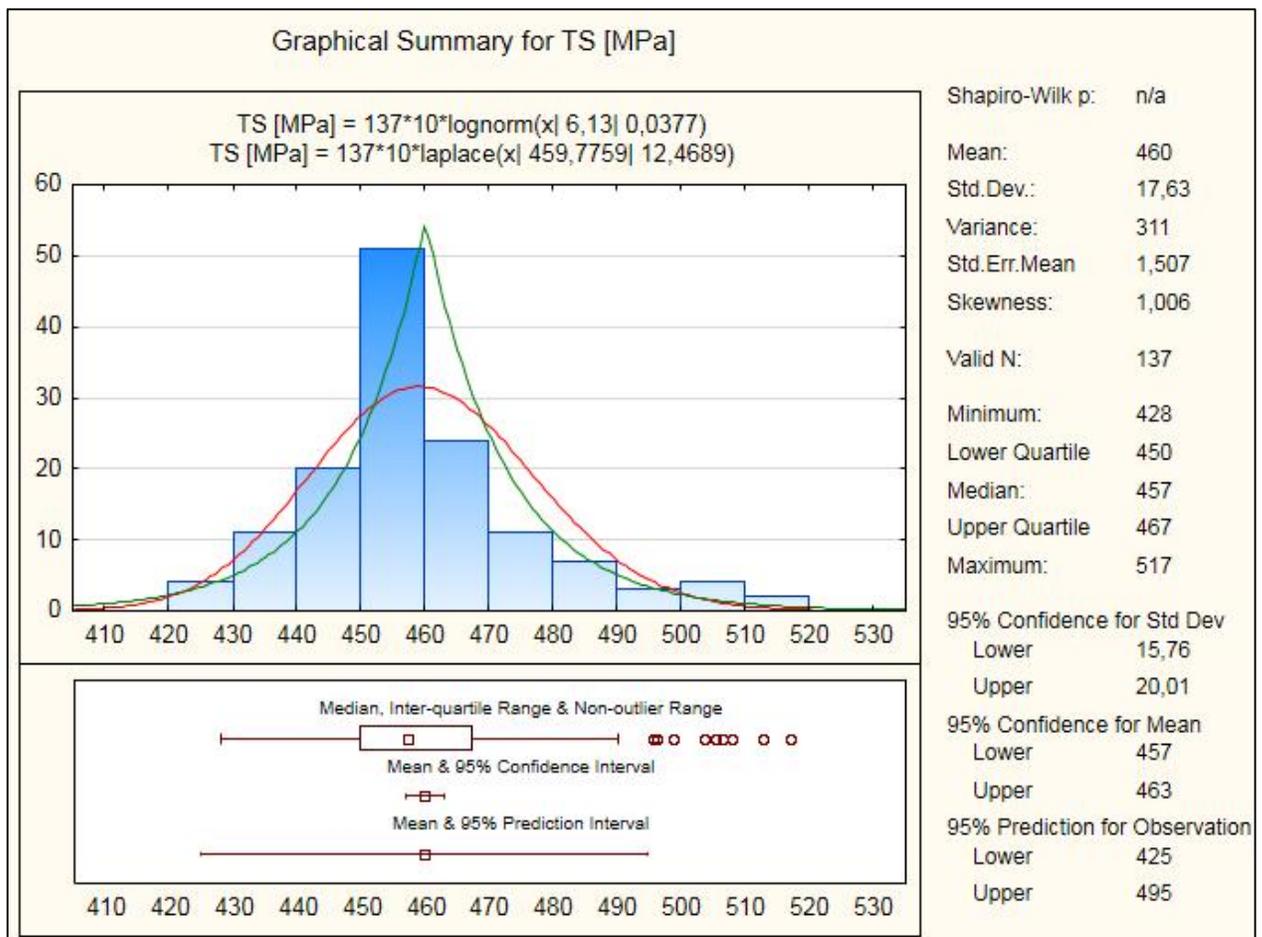


Gráfico N°18: “Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Brasil”

La distribución del Gráfico N°18 se hizo considerando una distribución log-normal (verde) y una Laplace (rojo). A pesar que a priori la distribución se asemejaba a la log-normal, se aprecia claramente que se trata de una Laplace.

Sabiendo el carácter estadístico del estudio en el caso de Brasil, se procede a presentar los resultados obtenidos para este país.

Tabla N°8: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Brasil”

BRASIL ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,32	1,16
R Promedio Ponderado	1,31	1,17
R Percentil 84	1,31	1,15

3.3.2.2 Planchas de Acero importadas de China

Para el caso de las planchas de acero importadas de China, se han podido recopilar datos de dos calidades distintas de acero, las cuales corresponden al ASTM A36 y al ASTM A572 Gr 50. Por lo tanto, para hacer un correcto análisis de las importaciones realizadas desde este país, se debe hacer la separación entre ambas calidades de acero. Las planchas son elaboradas por varias Metalúrgicas, como Shanghai Baomin Iron & Steel Group Corp[10], Jinan Iron and Steel Company LTD[11], Sha Gang Group Co Ltd[12], Hebei Wenfeng Iron and Steel Company Ltd[13], Hunan Valin Xiangtan Iron & Steel Co, Ltd[14], Suzhou Longshine Steel Processing Co, Ltd[15], Tianjin Iron & Steel Co, Ltd[16], Shougang Brand[17], Benxi Steel[18], NanJing Iron&Steel Company Limited[19], Shanghai Junhe Group[20] y otras como Zhongpu (Handan) Iron and Steel Co, Ltd y Shandong Laiwu Xinfu Iron & Steel Company Limited.

3.3.2.2.1 ASTM A36, China

Sin dudas en este estudio la mayor cantidad de datos recopilados corresponden a planchas de acero de calidad ASTM A36. Dentro de este margen, China es lejos el país desde el que se importa la mayor cantidad de tonelaje correspondiente a dicho material. Por lo tanto, los resultados mostrados a continuación, pueden ser de los más importantes al momento de analizar la cantidad y calidad de la información subdividida según país de origen.

De esta manera, se presentan los resultados obtenidos para esta parte del estudio tal cual como se ha hecho en las secciones anteriores.

Tabla N°9: "Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, China"

CHINA ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	310,8	465,6
Promedio Ponderado	304,9	462,2
Mediana	310,0	469,5
Intervalo Modal	[295,306[(6)	[490,500[(10)
Desviación Estándar	28,43	25,61
Diferencia Mediana y Media	0,27%	0,83%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	1,66%	1,58%
Valor Percentil 84	330,0	490,0

Se aprecia en la Tabla N°9 que, al igual como ha sido la tónica, los valores de tendencia central están aproximadamente alineados, por lo que los datos tienen a estar agrupados en torno a la media, otorgándole normalidad a la distribución.

Sabiendo lo anterior, se muestra la forma en que se agrupan los datos en el histograma, presentado en forma de dispersión de datos.

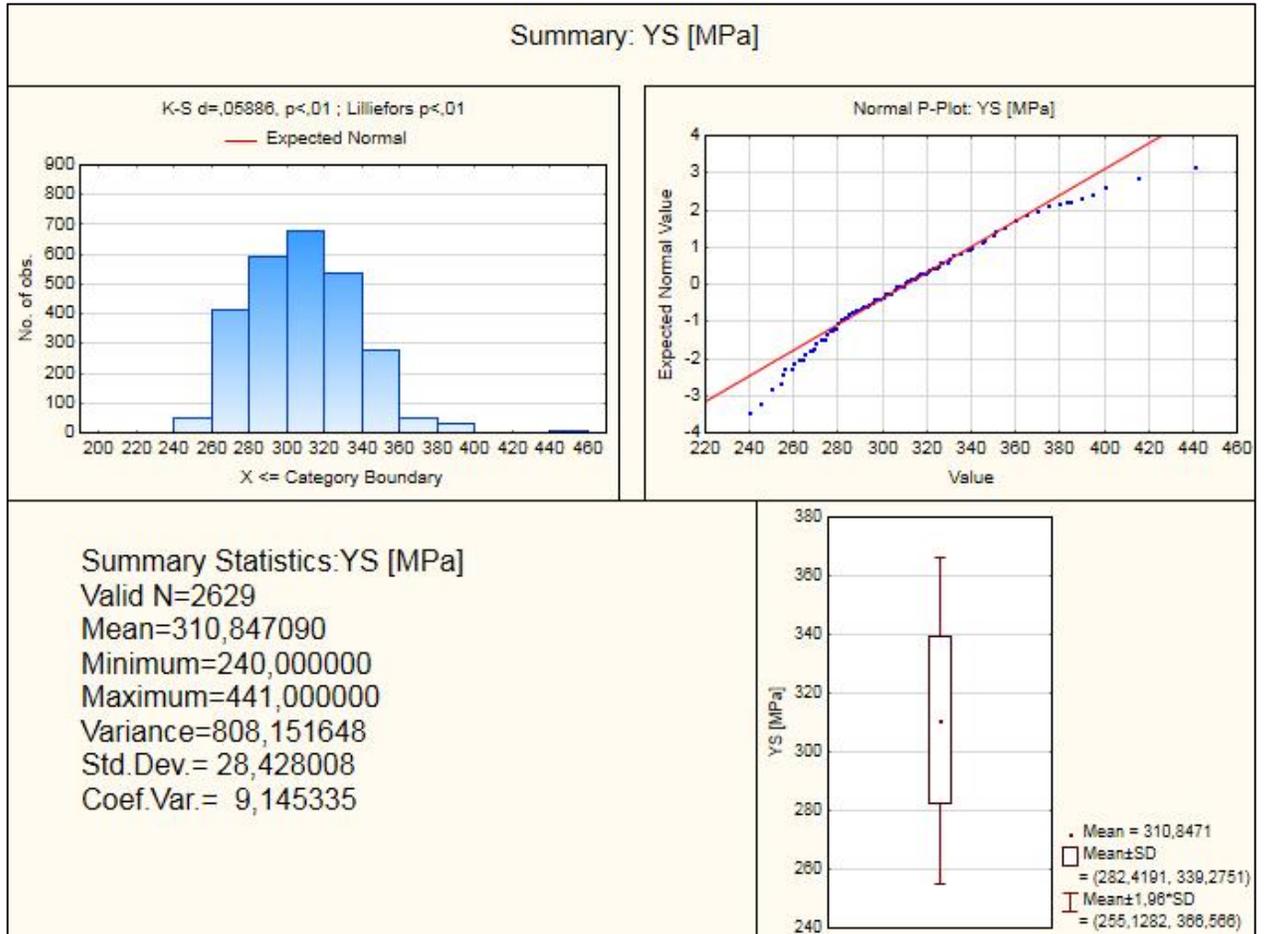


Gráfico N°19: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, China”

El Gráfico N°19 muestra una tendencia de los datos a distribuir de manera normal. Además, del Normal P-Plot se puede ver que los datos generan una curva en vez de una línea recta. Esta curva tiene similitud con un logaritmo. Por último, se ve que el promedio siempre estará en torno al valor observado, con un 95% de confianza.

Posteriormente, se comparó la distribución observada con dos teóricas similares.

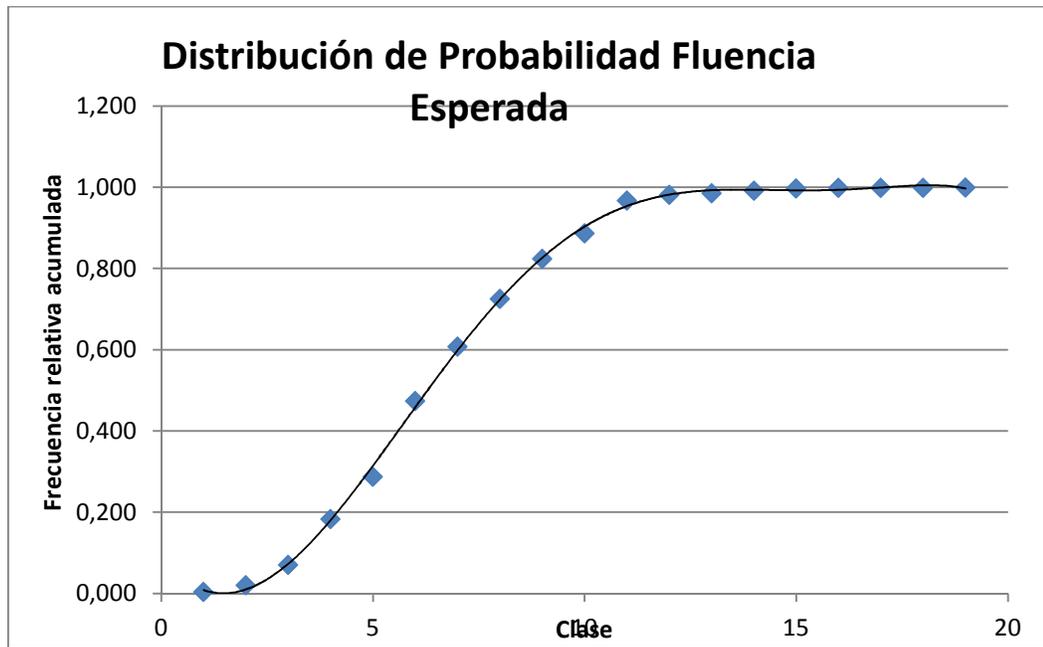


Gráfico N°20: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, China"

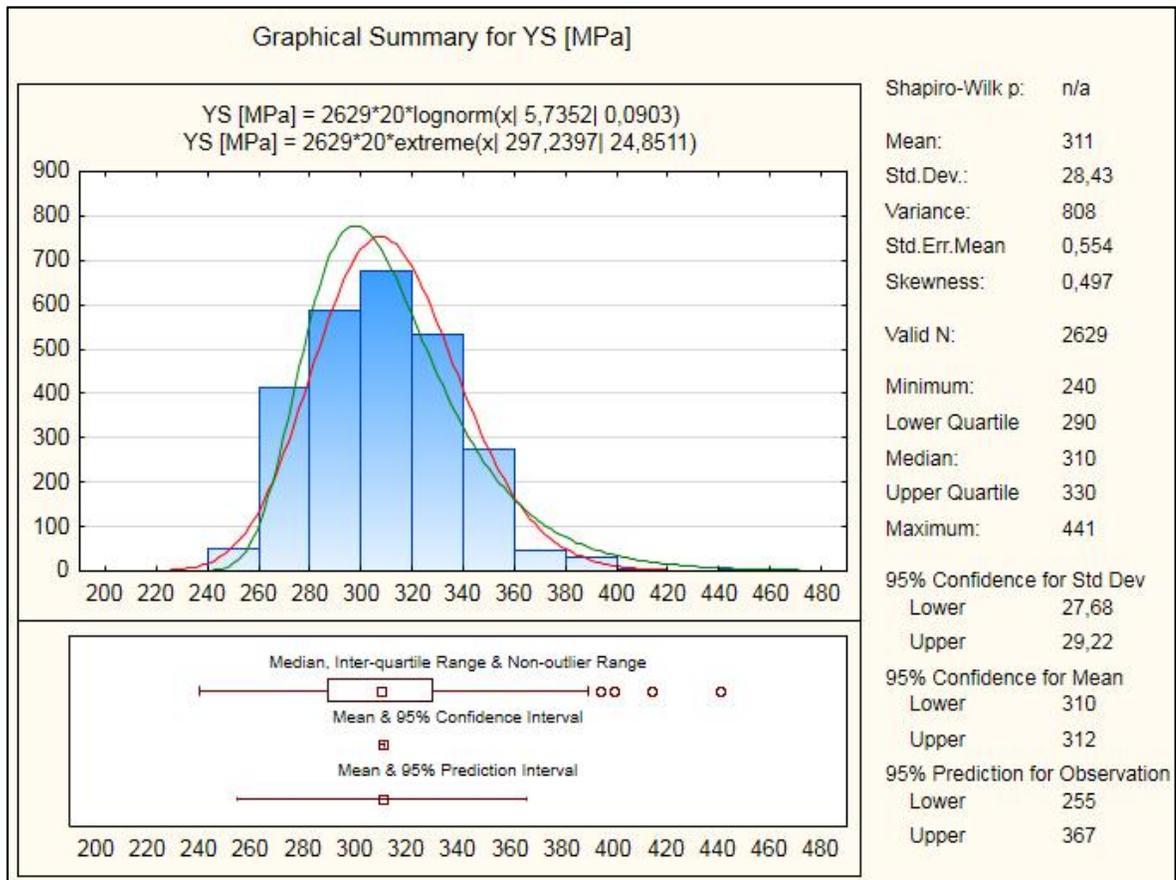


Gráfico N°21: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, China"

En el gráfico n°20 se vio que los datos tienen tendencia a distribuir normalmente, lo que se corrobora en el Gráfico N°21, el cual muestra dos curvas de distribución conocidas en torno a la distribución observada, siendo ellas las que más se asimilan al caso observado. Se introdujo la distribución log-normal (rojo) y una extrema (verde), siendo la log normal la que tiene un mejor ajuste en lo visual y comparando con los datos obtenidos en el gráfico n°20, por lo que se opta por esta distribución para obtener los coeficientes de fluencia esperados.

Ahora, se muestran los resultados obtenidos para el caso de Rotura Esperada.

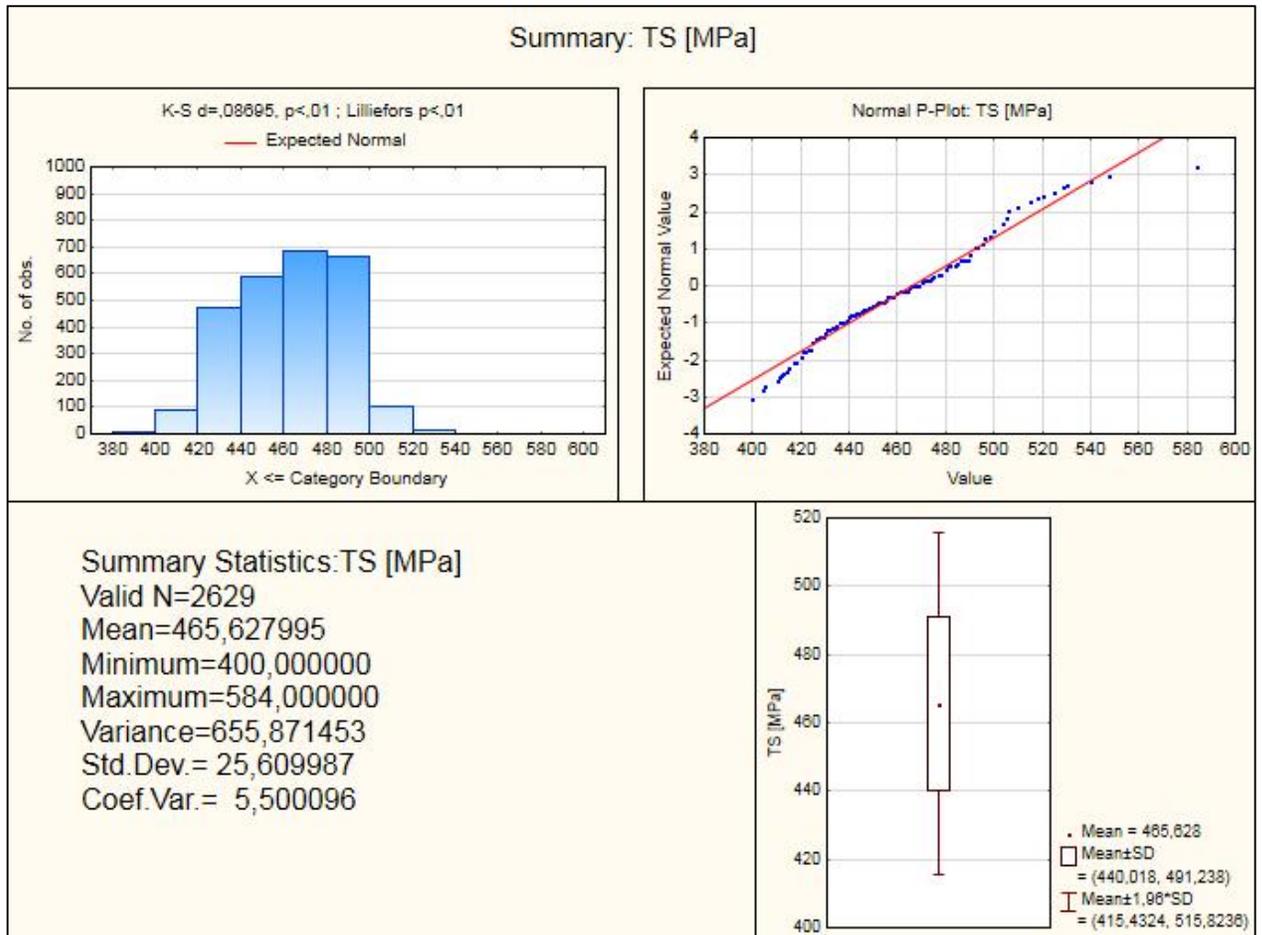


Gráfico N°22: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, China"

Del gráfico n°22 se aprecia la tendencia a agrupar los datos en los tramos centrales con poca variación. Sin embargo, el Normal P-Plot entrega una cierta tendencia de los datos a distribuir normalmente, pero con muchas irregularidades comparándolo con los casos vistos previamente.

Se determina la distribución de probabilidad de acuerdo al siguiente estudio.

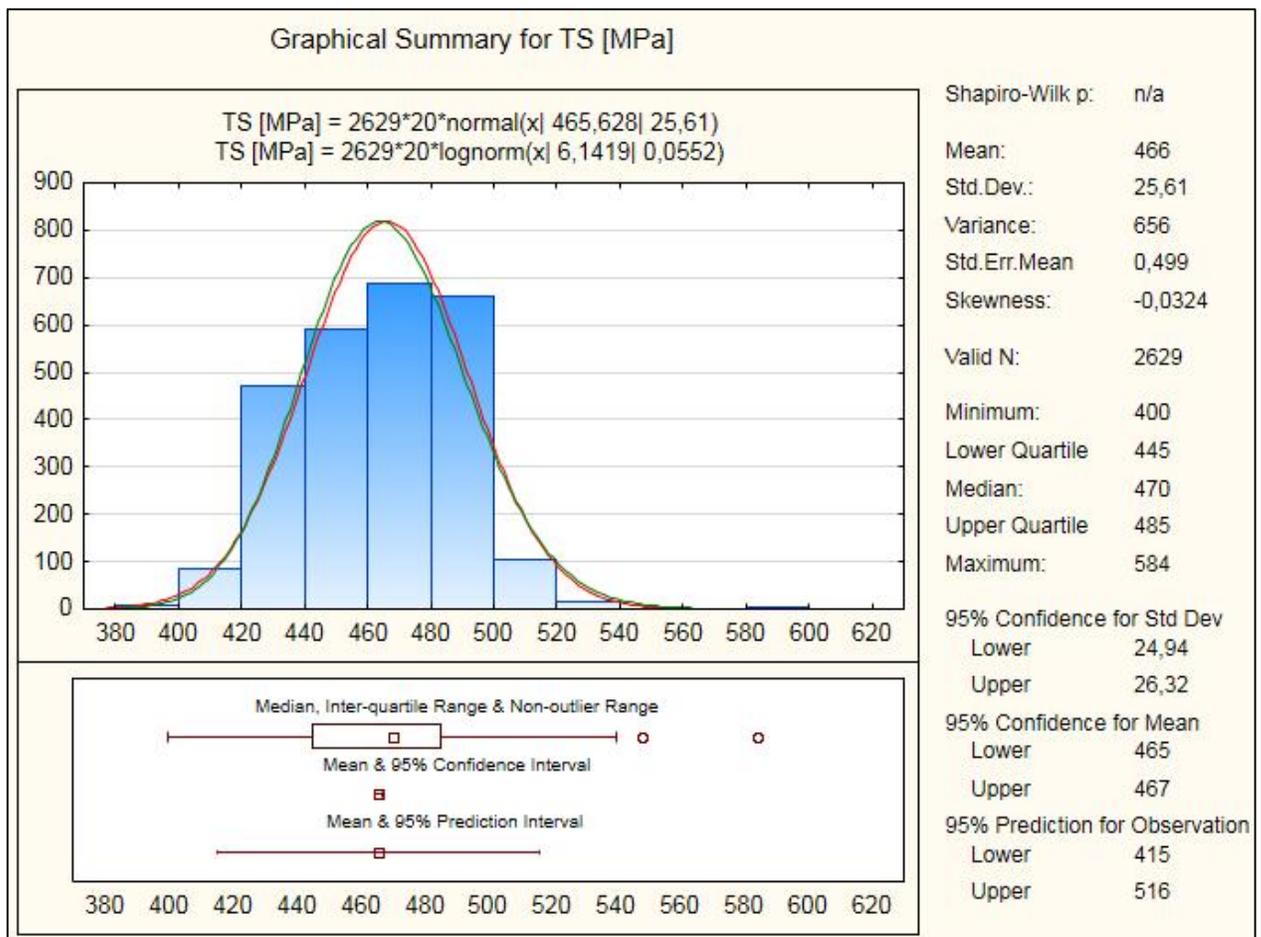


Gráfico N°23: “Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, China”

Tal como se vio en el Normal P-Plot del gráfico n°22 existe irregularidad en los datos. Sin embargo, son las distribuciones normal y log-normal las que representan de mejor manera la distribución observada. Ante ello, se opta por utilizar la Normal como distribución representativa, con lo cual los coeficientes de rotura se obtienen de los datos.

Con estas condiciones, se obtienen los valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados, los cuales se muestran a continuación.

Tabla N°10: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, China”

CHINA ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,36	1,20
R Promedio Ponderado	1,33	1,19
R Percentil 84	1,32	1,20

3.3.2.2.2 ASTM A572 Gr 50, China

Como se dijo en 3.3.1.2, el acero de esta calidad se importa desde China y Ucrania principalmente. Sin embargo, la mayoría de estas importaciones se hacen desde China, provenientes de las fuentes que se mencionan en 3.2.2.2. Con ello, se tienen los siguientes resultados, presentados de manera análoga a los anteriores.

Tabla N°11: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A572 Gr 50, China”

CHINA ASTM A572 Gr 50	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	345,0	450,0
Media	412,7	563,0
Promedio Ponderado	407,5	560,6
Mediana	415,0	565,0
Intervalo Modal	[409,418[(12)	[560,566[(11)
Desviación Estándar	28,73	22,79
Diferencia Mediana y Media	0,57%	0,36%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	1,84%	0,79%
Valor Percentil 84	440,0	590,0

A diferencia de lo que ocurría en la Tabla N°9 en este caso se tiene que los promedios caen dentro de los intervalos modales, a excepción del Promedio Ponderado de la Fluencia Esperada.

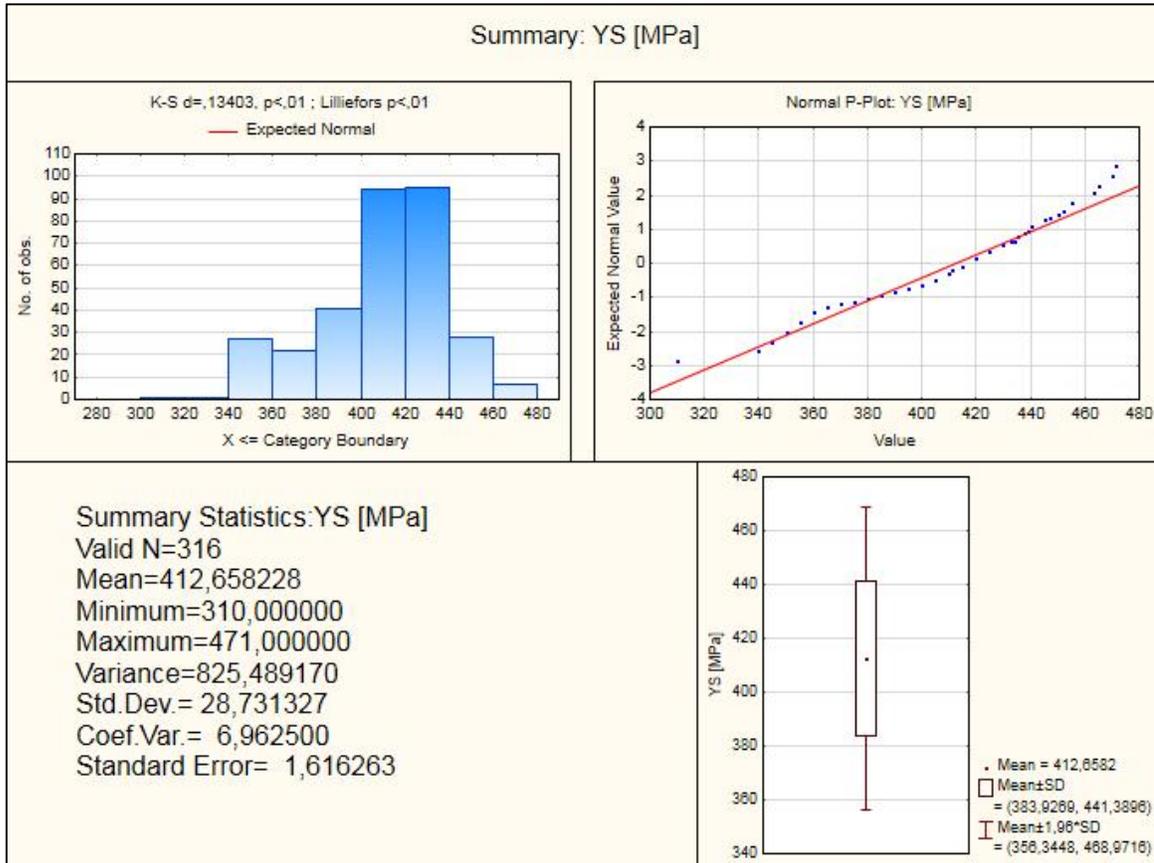


Gráfico N°24: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, China”

En el Gráfico N°24 se aprecia la tendencia de los datos a agruparse en torno a los 400 y 440 [MPa] lo que se condice con la tabla resumen de datos. Sin embargo, se ve un amplio margen de dispersión, que se corrobora con el Normal P-Plot, que muestra una diferencia entre los valores observados y la normal esperada, aunque la tendencia sea similar.

La Distribución de probabilidad acumulada queda determinada por la siguiente curva.

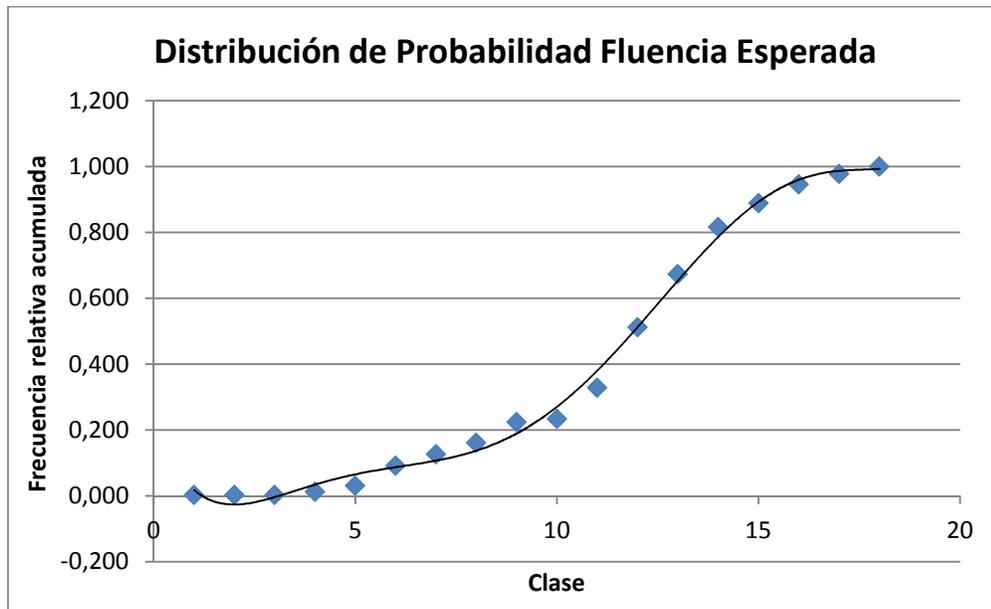


Gráfico N°25: “Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, China”

Se hace un análisis análogo a los anteriores, teniendo en consideración que los valores de tendencia central son similares, por lo que se compara la distribución con una normal o log-normal.

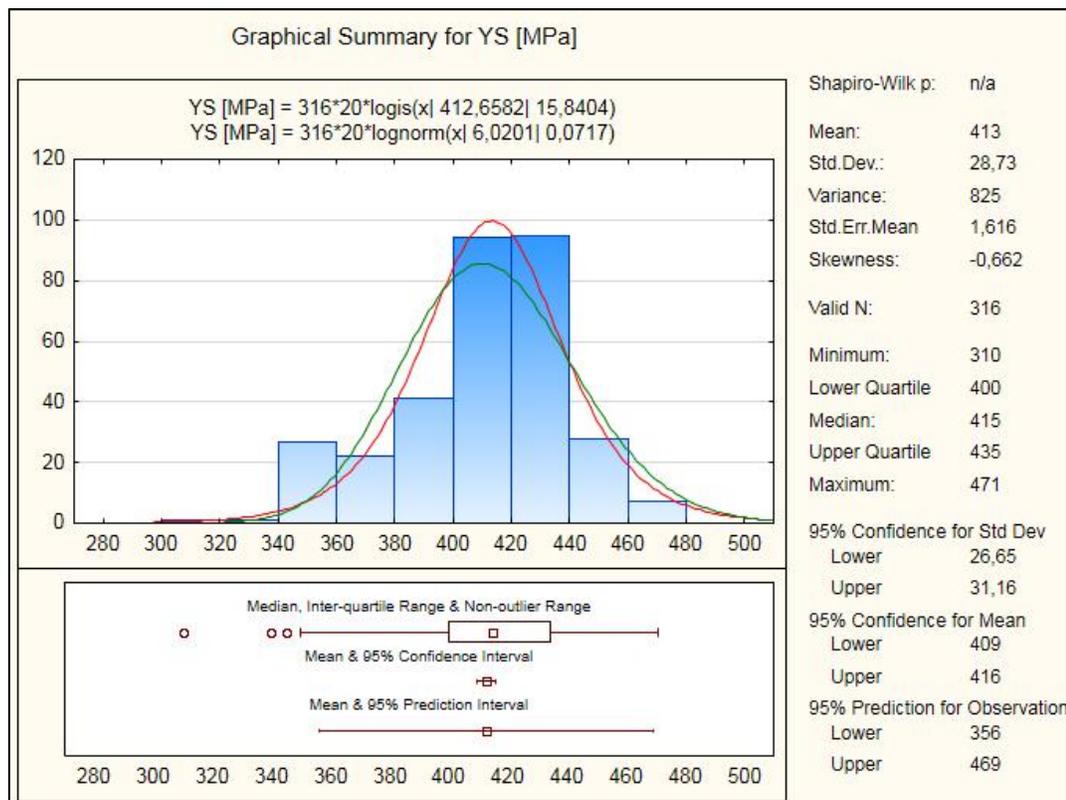


Gráfico N°26: “Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, China”

En este caso, se ha hecho la comparación de la distribución de frecuencias observada con una distribución log-normal (verde) y una distribución logística (rojo), siendo esta última la que tiene un mejor ajuste con lo que está pasando. Así, se opta por utilizar esta distribución para la determinación del coeficiente de fluencia esperada.

Ahora, se muestran los resultados obtenidos para el caso de Rotura Esperada.

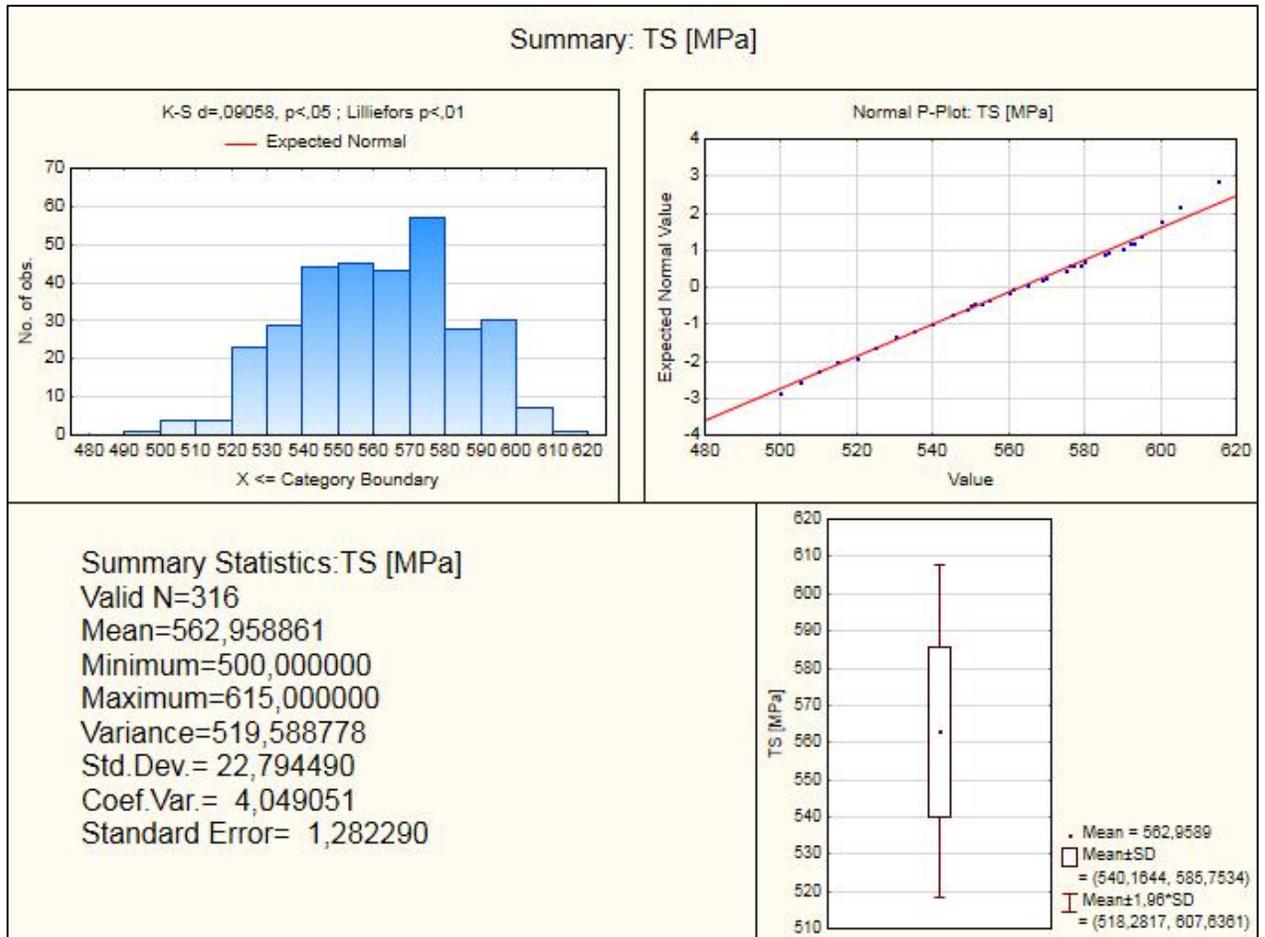


Gráfico N°27: “Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, China”

En el Gráfico N°27 se ve que hay una gran dispersión de los datos, los cuales son pocos comparados con los casos vistos anteriormente. Sin embargo, el Normal P-Plot entrega una tendencia de los datos a distribuir normalmente.

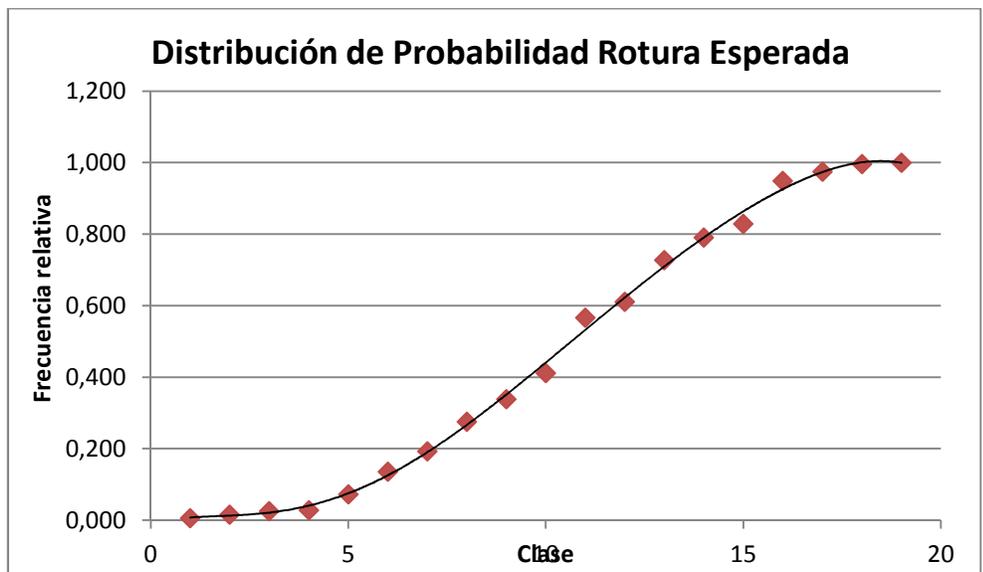


Gráfico N°28: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, China"

Se puede ver en el Gráfico N°28 que el aumento de la frecuencia relativa entre los intervalos 5 y 15 es casi lineal.

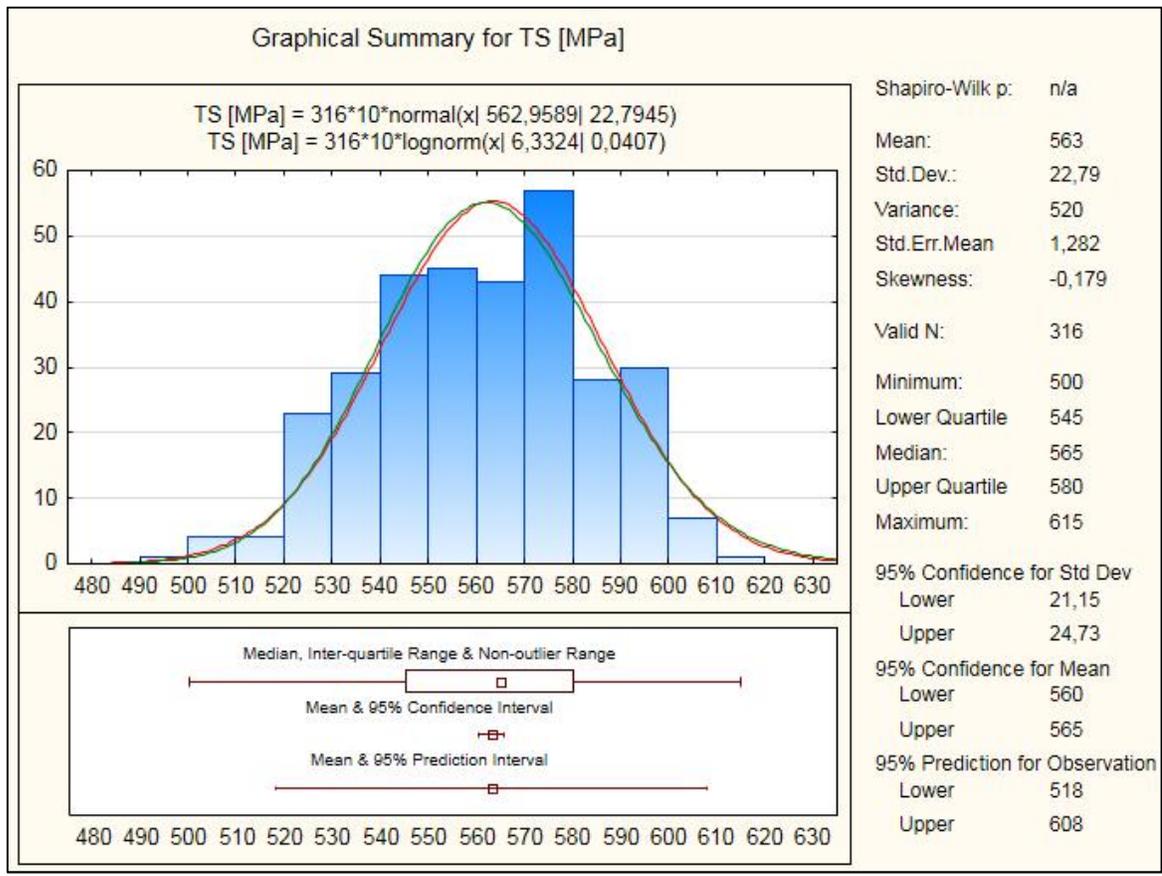


Gráfico N°29: "Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, China"

Se vio que las distribuciones que más se asimilan al caso observado son la normal y log-normal, indicadas en rojo y verde respectivamente. Aunque se aprecian discordancias de acuerdo al gráfico N°29, se opta por la distribución normal para explicar lo que ocurre para el caso de rotura.

Así, los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados que se encontraron en las planchas de acero calidad ASTM A572 Gr 50 provenientes de China, son los siguientes.

Tabla N°12: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A572 Gr 50, China”

CHINA ASTM A572 Gr 50	Ry	Rt
R Promedio	1,28	1,30
R Promedio Ponderado	1,26	1,30
R Percentil 84	1,28	1,31

3.2.2.3 Planchas de Acero ASTM A36 importadas de Japón

Anualmente no es importante la cantidad de planchas de acero que se importan de Japón. Lo que sí es importante es el tonelaje de las mismas, porque se traen planchas de altos espesores (40mm, 50mm, 63mm, 75mm) que se ocupan en proyectos en particular. La principal característica de las planchas importadas de Japón, es que corresponden únicamente a planchas de calidad ASTM A36 y vienen traídas de las siderúrgicas Nippon Steel Corporation[22], Kobe Steel LTD[23] y Tokyo Steel[24].

Dado lo anterior, los valores que se entregan son sólo de Acero ASTM A36.

Tabla N°13: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Japón”

JAPÓN ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	293,9	437,6
Promedio Ponderado	308,8	440,2
Mediana	289,6	436,0
Intervalo Modal	[278,285[(5)	[426,431[(5)
Desviación Estándar	22,46	13,28
Diferencia Mediana y Media	1,46%	0,38%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	6,22%	0,96%
Valor Percentil 84	313,0	451,5

Se ve en la Tabla N°13 que los valores de promedio ponderado son mayores que los del promedio simple, lo que se condice con que a priori se sabía que en las planchas traídas desde Japón la importancia está en el tonelaje más que en el número de planchas. Incluso, los intervalos modales de Fluencia y Rotura Esperados están bajo la Media y la Media Ponderada. Además, la diferencia porcentual entre la Mediana y la

Media o Media Ponderada, son significativas en el caso de la Fluencia observada. Estas irregularidades en las observaciones se pueden apreciar mejor en el histograma.

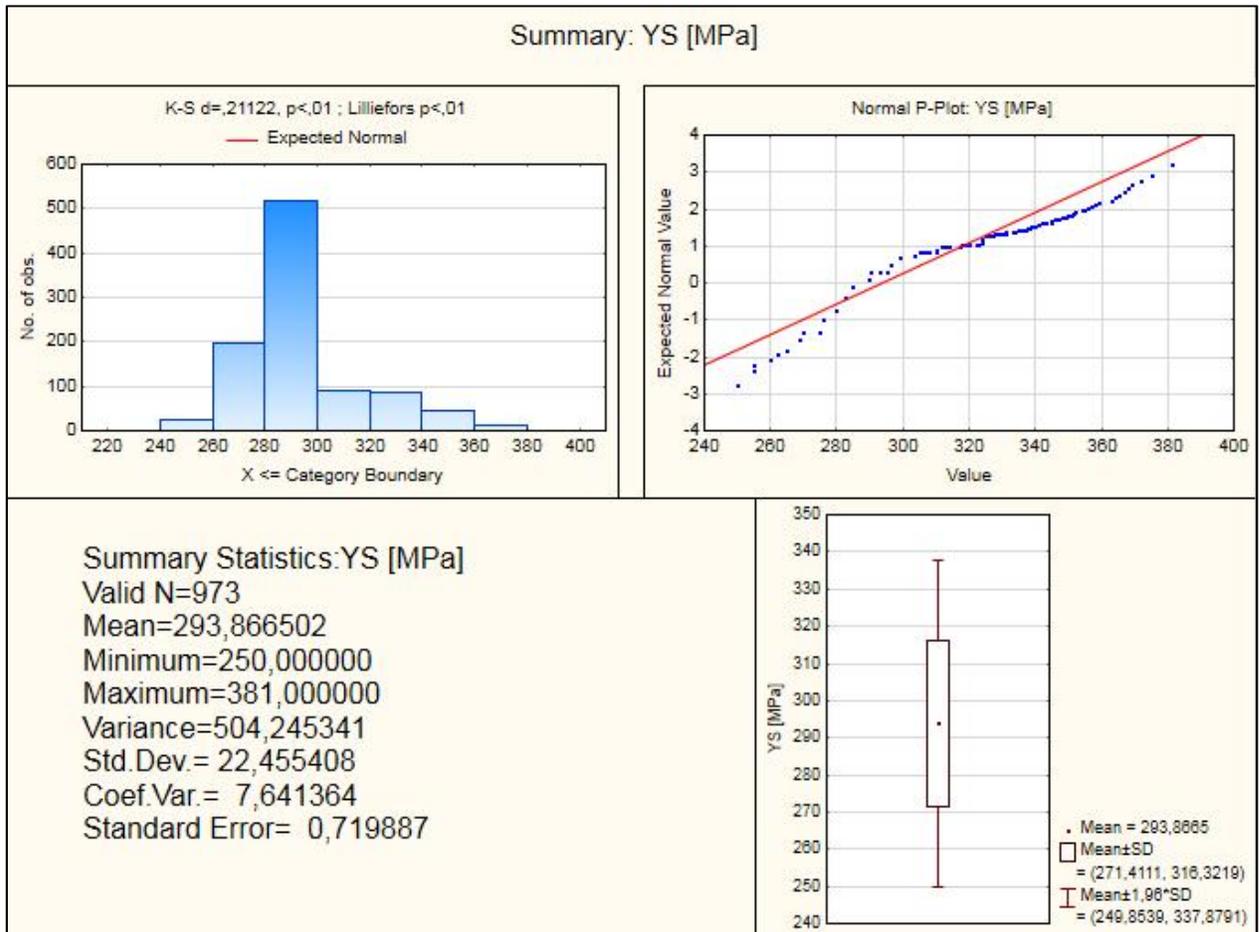


Gráfico N°30: "Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Japón"

Se puede apreciar del gráfico n°30 que el intervalo entre 280 y 300 [MPa] es uno de los intervalos modales más notorios a lo largo del estudio, lo que le quita la posibilidad de determinar una distribución conocida clara a priori. Esto se condice con lo que ocurre con la normalidad que muestra el gráfico del Normal P-Plot, el cual está mostrando cierta tendencia lineal, pero con una alta dispersión.

De este modo, se ve que la distribución de probabilidad de Fluencia Esperada observada es la siguiente, la cual se ve claramente irregular, al igual que el histograma anterior.

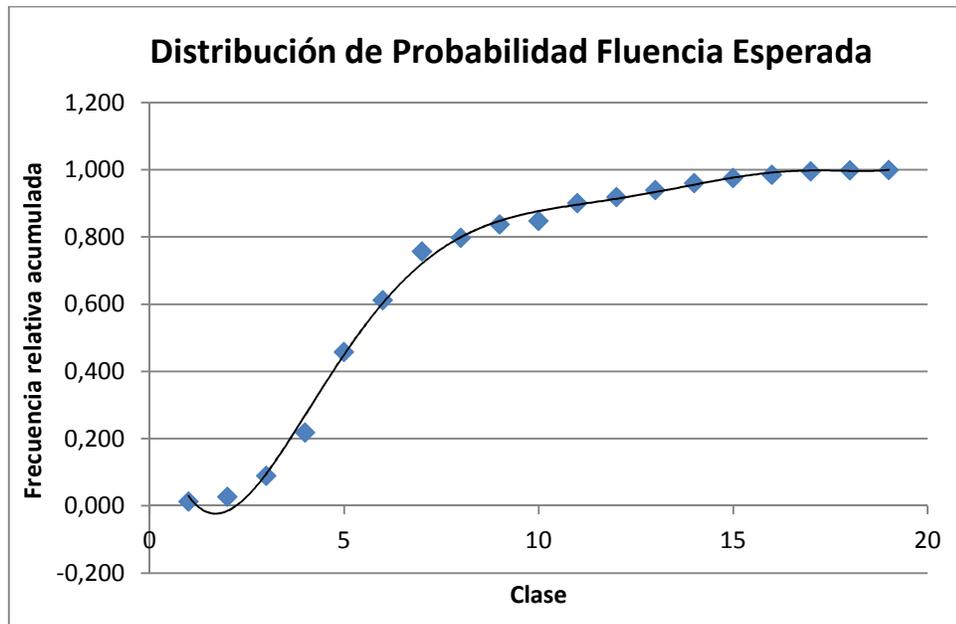


Gráfico N°31: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Japón"

Se ve en el Gráfico N°34 que desde el intervalo N°8 en adelante, la probabilidad de varía sólo en un 20%, puesto que el grueso de los datos está entre los intervalos 3 y 7, siendo el tramo entre los 280 y 300 MPa los que obtienen la mayor cantidad de valores observados.

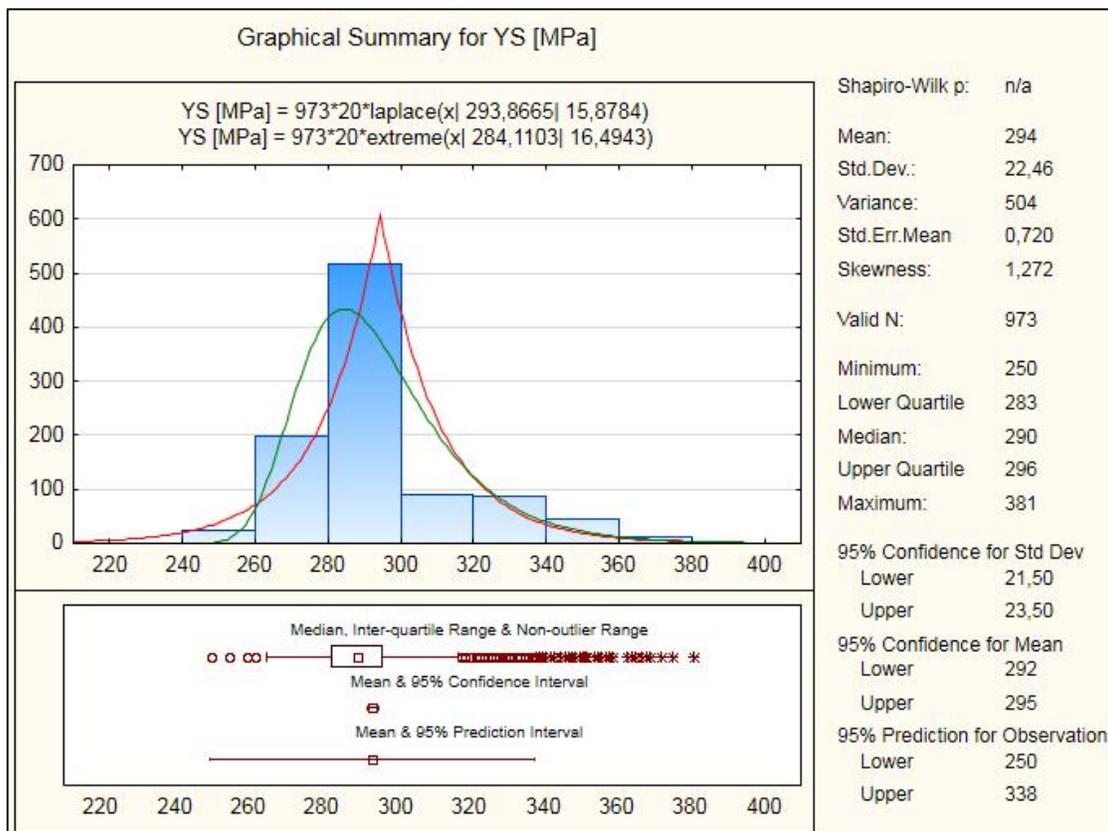


Gráfico N°32: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Japón"

Al comparar la distribución observada con distribuciones conocidas, se encontró que las más similares a la obtenida fueron la distribución de Laplace (rojo) y la Extrema (verde). Ambas son representadas en el gráfico n°32 y se opta por la de Laplace, porque explica de mejor manera la acumulación en torno a un único intervalo como sucede en esta situación.

Pasando a la Rotura Esperada, las irregularidades no cesan. Es más, se hacen aún más claras que en el caso de Fluencia.

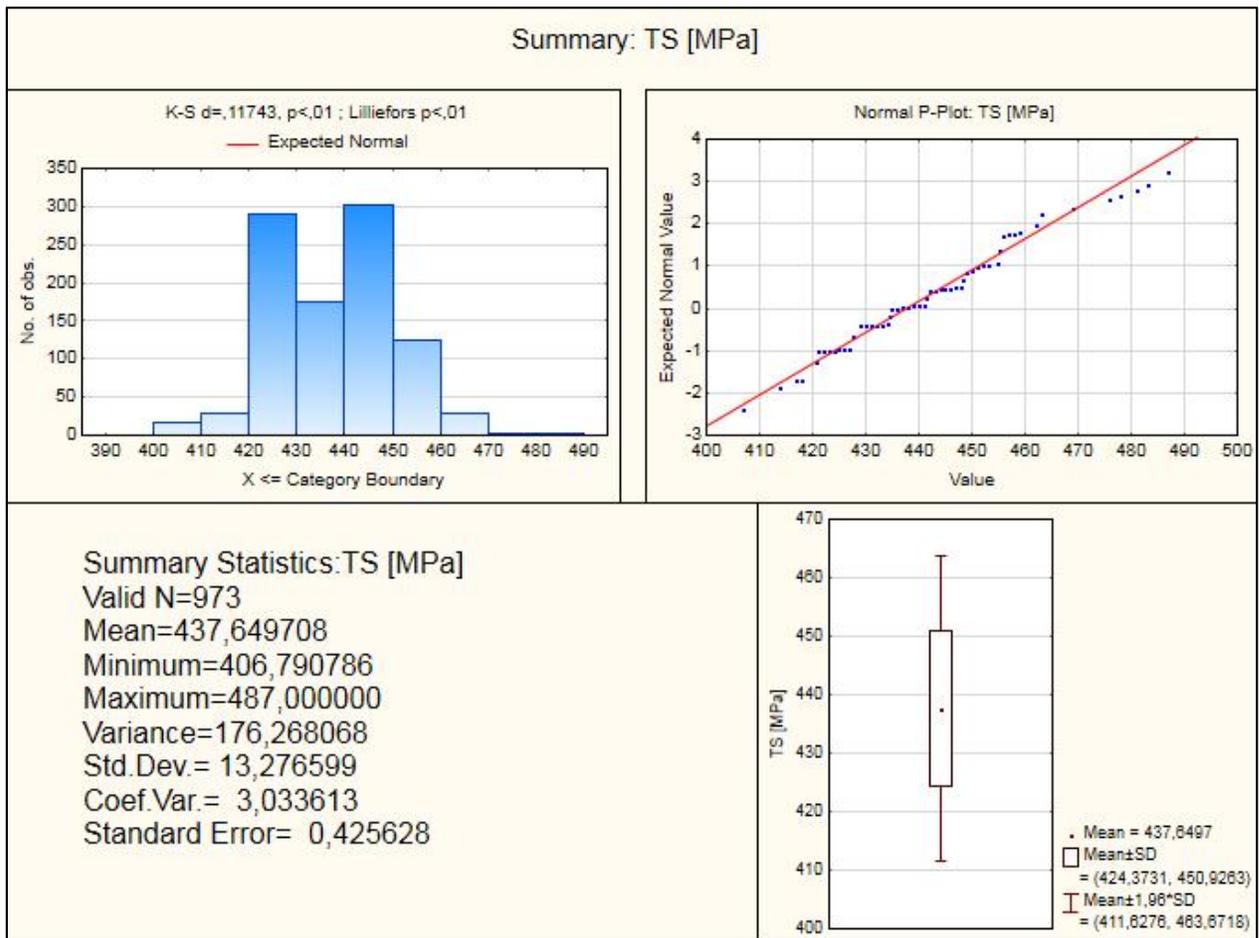


Gráfico N°33: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Japón"

En el gráfico n°33 se observa que las frecuencias están muy dispersas y no muestran ningún tipo de concordancia con alguna distribución, ni tienen alguna forma parecida a algo. Por ello, se prefiere el mostrar los datos obtenidos tal como son y tratar ajustarlos con una distribución normal, o en su defecto, mostrar los datos tal como se obtuvieron. Además, del Normal P-Plot se ve un escalonamiento en los datos observados, los cuales tienen una tendencia ascendente, pero dicho escalonamiento hace dudar de la validez de los datos.

Sabiendo todo ello, la distribución de probabilidad de Rotura Esperada está dada por la curva siguiente.

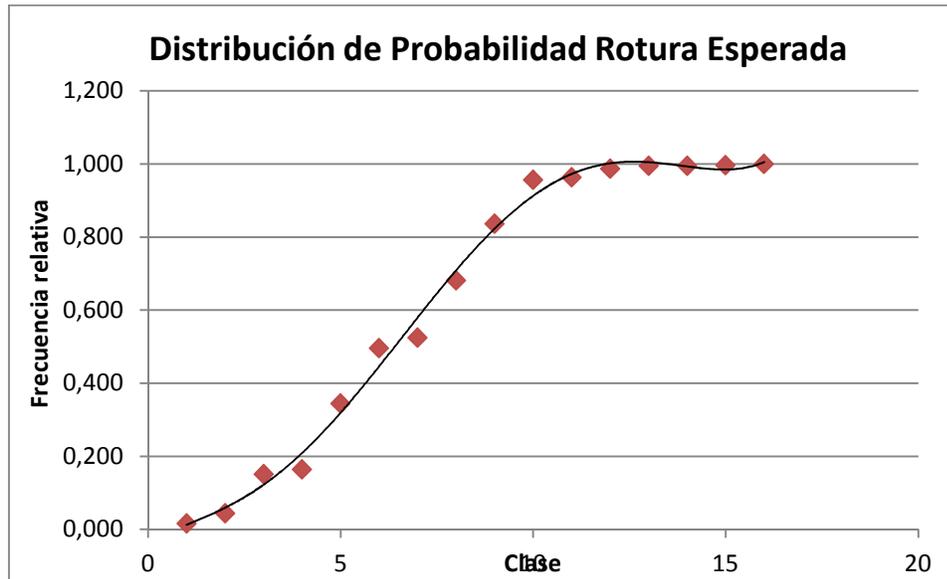


Gráfico N°34: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Japón"

En el Gráfico N°34 se puede ver claramente lo irregular de cómo distribuyen los datos en este caso, puesto que del intervalo N°10 en adelante, se pueden encontrar todos, o casi todos, los datos observados.

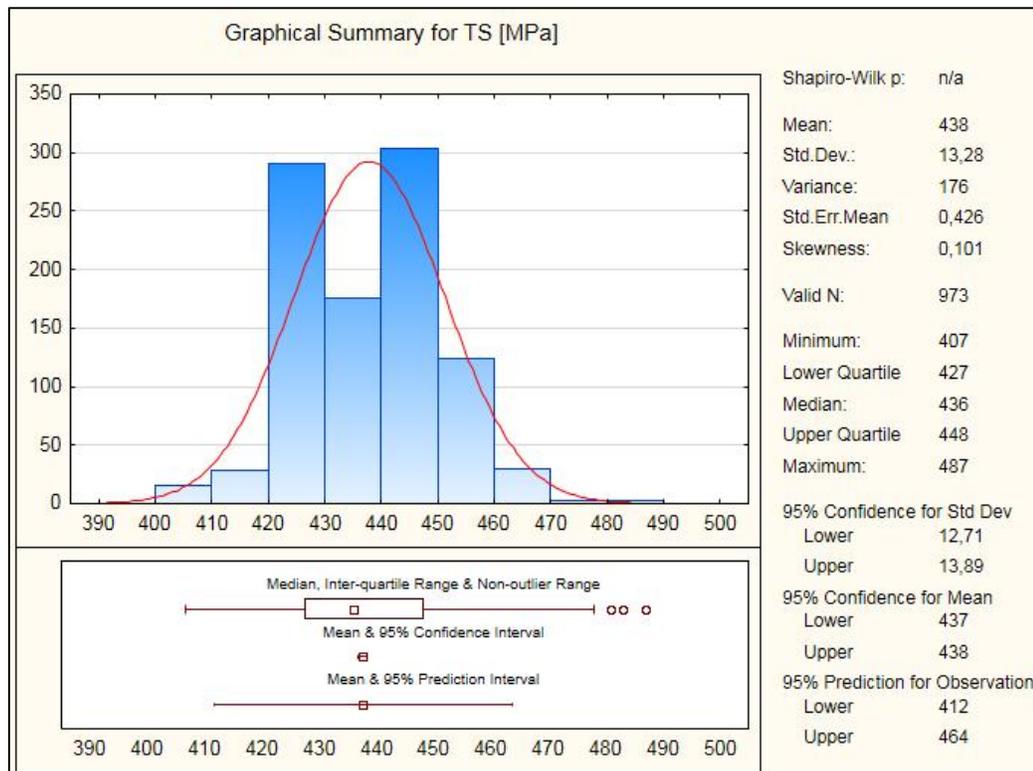


Gráfico N°35: "Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Japón"

Tal como se dijo previamente, se impone una distribución normal en este caso, lo que se puede ver en el gráfico n°35.

Con todas las irregularidades encontradas, se calcularon los valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para el caso del Acero ASTM A36 importado de Japón, los cuales vienen dados por la tabla siguiente.

Tabla N°14: "Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Brasil"

JAPÓN ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,27	1,10
R Promedio Ponderado	1,32	1,11
R Percentil 84	1,25	1,10

3.2.2.4 Planchas de Acero importadas de Ucrania

Durante el período 2006-2012, ingresaron a nuestro país casi 20 mil toneladas de acero calidad ASTM A36 y alrededor de 2 mil de calidad ASTM A572 Gr 50, todas provenientes de Ucrania, por lo que el país ubicado al Este de Europa debe ser bien considerado en el análisis de este estudio. Al revisar los certificados de calidad de las planchas provenientes de ese país, más específicamente de Ilyich Iron & Steel Works of Mariupol[25] y Joint Stock Company Alchevsk Iron & Steel Works[26], se observó que venían datos dobles, es decir, se realizaron dos ensayos en una misma dirección y se obtuvieron distintos resultados para el valor de Fluencia y Rotura, los cuales tabularon por separado. Ante ello, se decidió tomar el promedio entre ambos como el valor observado a considerar y no necesariamente el mayor o el menor entre ambos. A partir de ello se gesta el análisis estadístico típico que se ha hecho hasta ahora, separando el estudio en ambas calidades de acero como se hizo en el caso de las planchas importadas de China.

3.2.2.4.1 ASTM A36, Ucrania

Cerca de 20 mil toneladas de acero ASTM A36 fueron importadas desde Ucrania en 7 años. La cantidad de tonelaje importado presente en nuestro país hace que sea relevante en este estudio. Así, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla N°15: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Ucrania”

UCRANIA ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	322,3	460,0
Promedio Ponderado	322,6	458,0
Mediana	322,5	455,5
Intervalo Modal	[322,329[(9)	[450,456[(7)
Desviación Estándar	20,42	23,80
Diferencia Mediana y Media	0,07%	0,97%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	0,04%	0,55%
Valor Percentil 84	323,5	457,5

Para el caso de Fluencia, se aprecia claramente que los valores de tendencia central están coordinados y las diferencias porcentuales son muy mínimas, por lo que se tratará como una distribución log-normal. En el caso de Rotura, se ve que la media y media ponderada están levemente fuera del rango del intervalo modal.

Con ello, se obtuvo el Histograma y los valores de la Distribución de Probabilidad, los cuales vienen dados por las siguientes curvas.

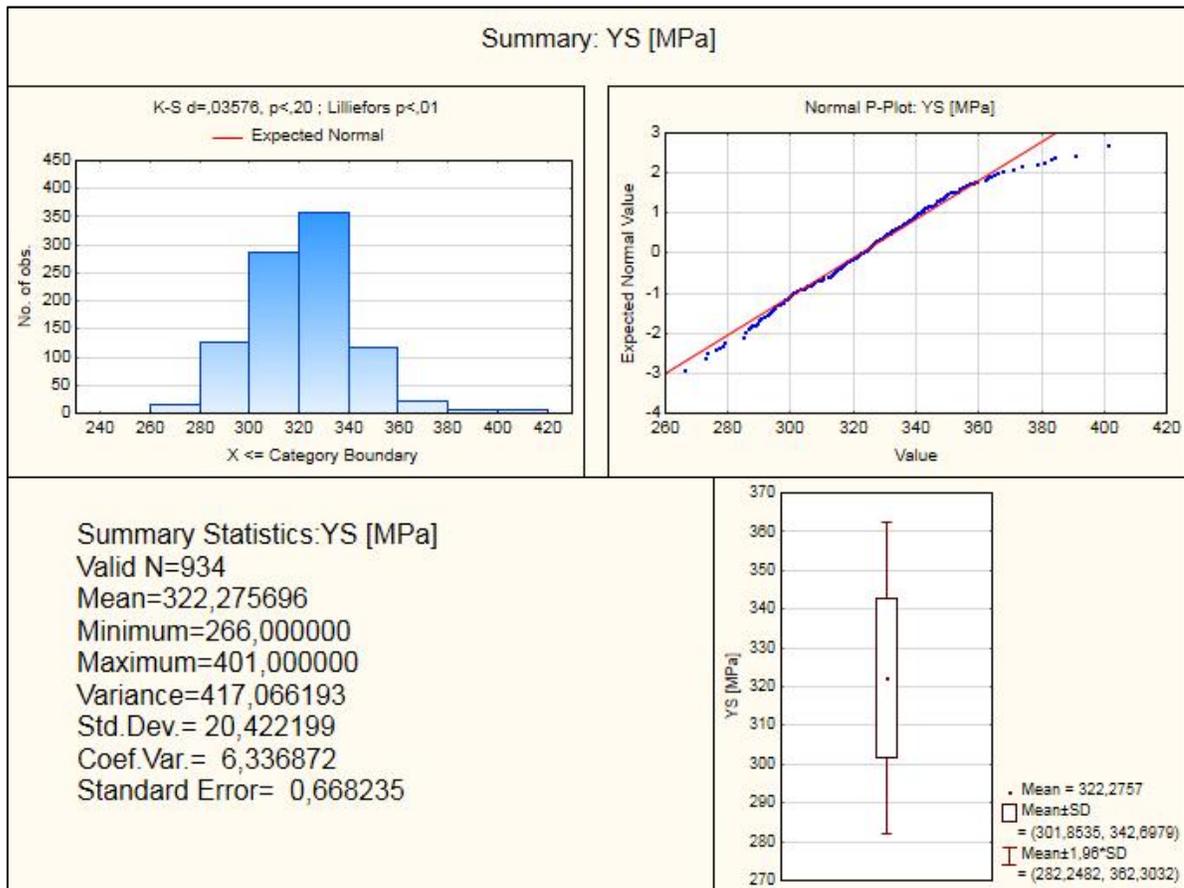


Gráfico N°36: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Ucrania (1)”

El Gráfico N°36 muestra claramente lo que se espera luego de haber obtenido los resultados de la tabla anterior, es decir, que los datos tengan tendencia a agruparse en torno a la media en forma de Campana de Gauss. Además, del Normal P-Plot se ve una tendencia similar a la lineal esperada para el caso de la distribución normal.

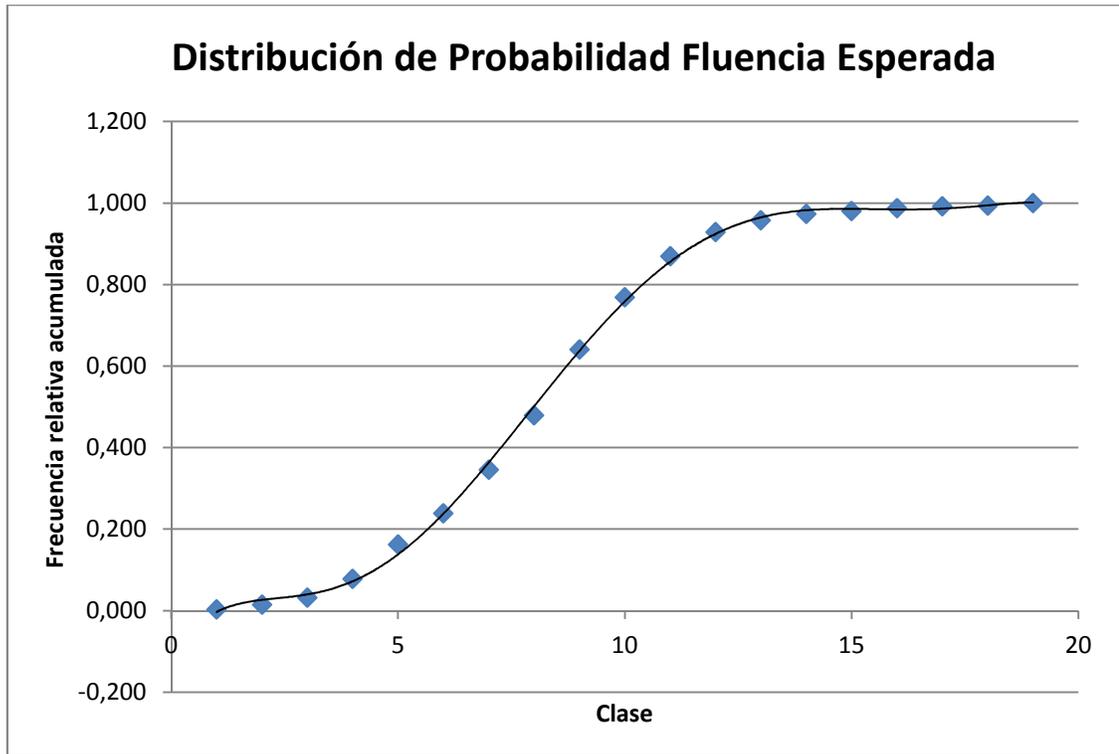


Gráfico N°37: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Ucrania"

La distribución del Gráfico N°37 es claramente una de las más perfectas del estudio, mostrando una continuidad uniforme.

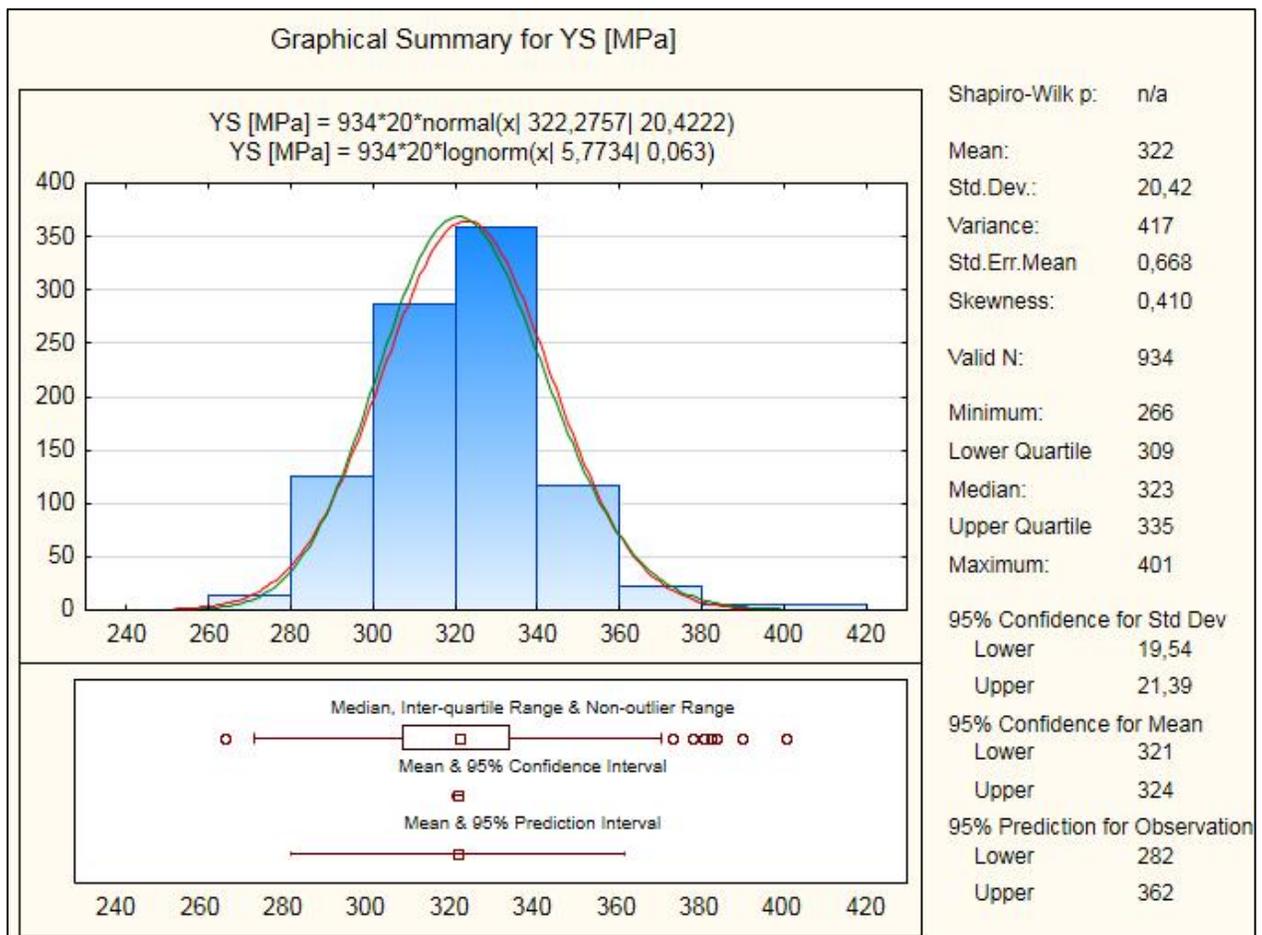


Gráfico N°38: “Determinación Distribución de Probabilidad, Fluencia ASTM A36, Ucrania”

Se puede ver que tanto la distribución normal como la log-normal tienen similitud con la distribución de los datos, lo que es lo esperable a priori dados los buenos resultados observados. Se escoge una distribución normal para este caso.

Así, pasamos directamente al análisis hecho para el caso de Rotura Esperada.

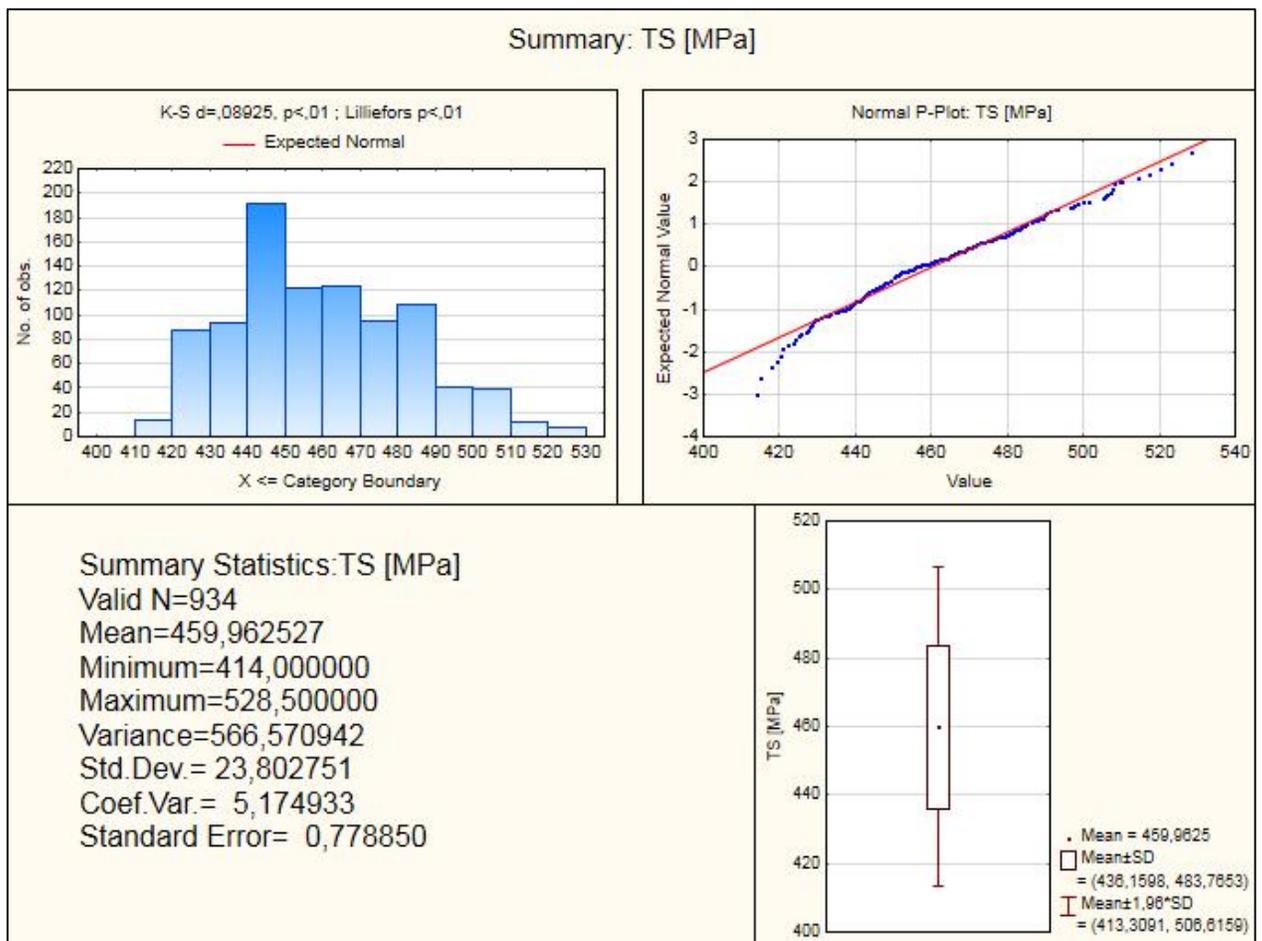


Gráfico N°39: “Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Ucrania”

Ciertamente para el caso de Rotura se tiene que los datos tienden a agruparse en torno a los 440 y 460 [MPa]. A pesar de ello, hay cantidades no despreciables de observaciones en los intervalos inmediatamente inferiores y superiores, por lo que la dispersión en este caso es bastante alta. En la tabla N°15 se ve que el intervalo modal está por debajo de la Media, Media Ponderada y Mediana, lo que se ve claramente en el histograma, pues sobre el intervalo modal existen altas frecuencias también.

Con todo lo anterior, se obtiene la distribución de probabilidad siguiente.

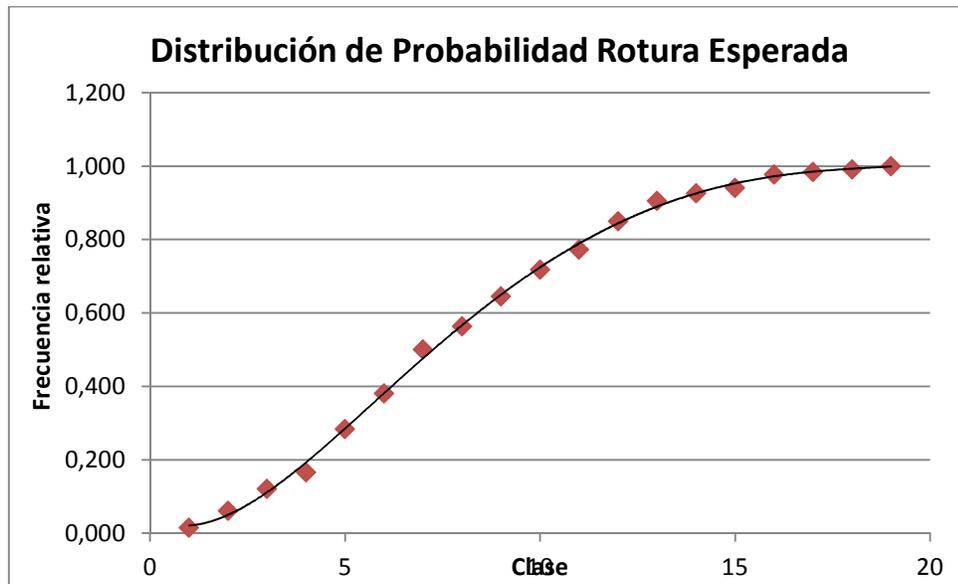


Gráfico N°40: “Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Ucrania”

Se ve la Ojiva de distribución de probabilidad, la que es regular y se ve bien en cuanto a la homogeneidad de la distribución de datos.

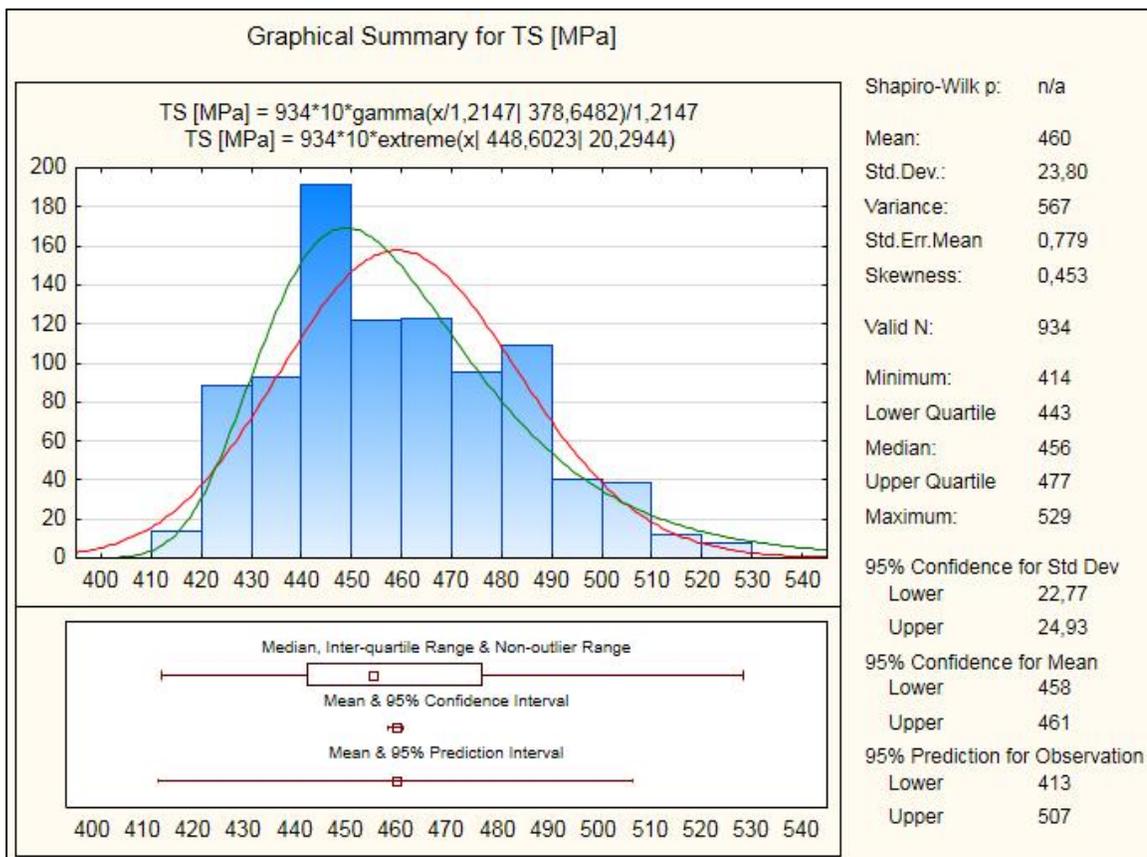


Gráfico N°41: “Determinación Distribución de Probabilidad, Rotura ASTM A36, Ucrania”

Para el caso de rotura se ve una gran dispersión en los datos en torno a la media. Así, las distribuciones que explican de mejor manera el suceso son la Distribución Gamma (verde) y la log-normal (rojo). De ambas, la Gamma tiene un mejor ajuste que la log-normal, por lo que se considera esta como válida para el caso de rotura esperada.

Así, se obtuvieron los siguientes valores de los Coeficientes de Fluencia y Rotura esperados para el acero ASTM A36 importado de Ucrania.

Tabla N°16: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Ucrania”

UCRANIA ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,37	1,18
R Promedio Ponderado	1,37	1,18
R Percentil 84	1,29	1,12

3.2.2.4.2 ASTM A572 Gr 50, Ucrania

Tal como se dijo con anterioridad, los casos de importaciones de esta calidad de acero son puntuales y dependen de especificaciones de proyectos en particular. Por ello, es que se tienen únicamente 2 mil toneladas en el período 2006-2012. Los resultados para este tipo de acero, importado desde Ucrania, son los siguientes.

Tabla N°17: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A572 Gr 50, Ucrania”

UCRANIA ASTM A572 Gr 50	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	345,0	450,0
Media	403,0	556,1
Promedio Ponderado	404,8	555,9
Mediana	403,0	556,5
Intervalo Modal	[382,395[(3)	[550,558[(6)
Desviación Estándar	20,28	16,51
Diferencia Mediana y Media	0,01%	0,06%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	0,43%	0,11%
Valor Percentil 84	421,5	574,0

En el caso de Fluencia se aprecia que todos los valores de tendencia central caen fuera del intervalo modal, pero todos son bastante similares, lo que puede comprobarse con la diferencia porcentual que hay entre la Mediana y la Media y Media Ponderada, por lo que el estudio de distribución de probabilidad se hizo.

Para Rotura, se tienen diferencias porcentuales mínimas entre las medidas de tendencia central y todas ellas caen dentro del intervalo modal, por lo que a priori se

puede determinar un modelo de distribución de probabilidad que sea similar a una distribución Log-Normal.

El histograma de fluencia es el siguiente.

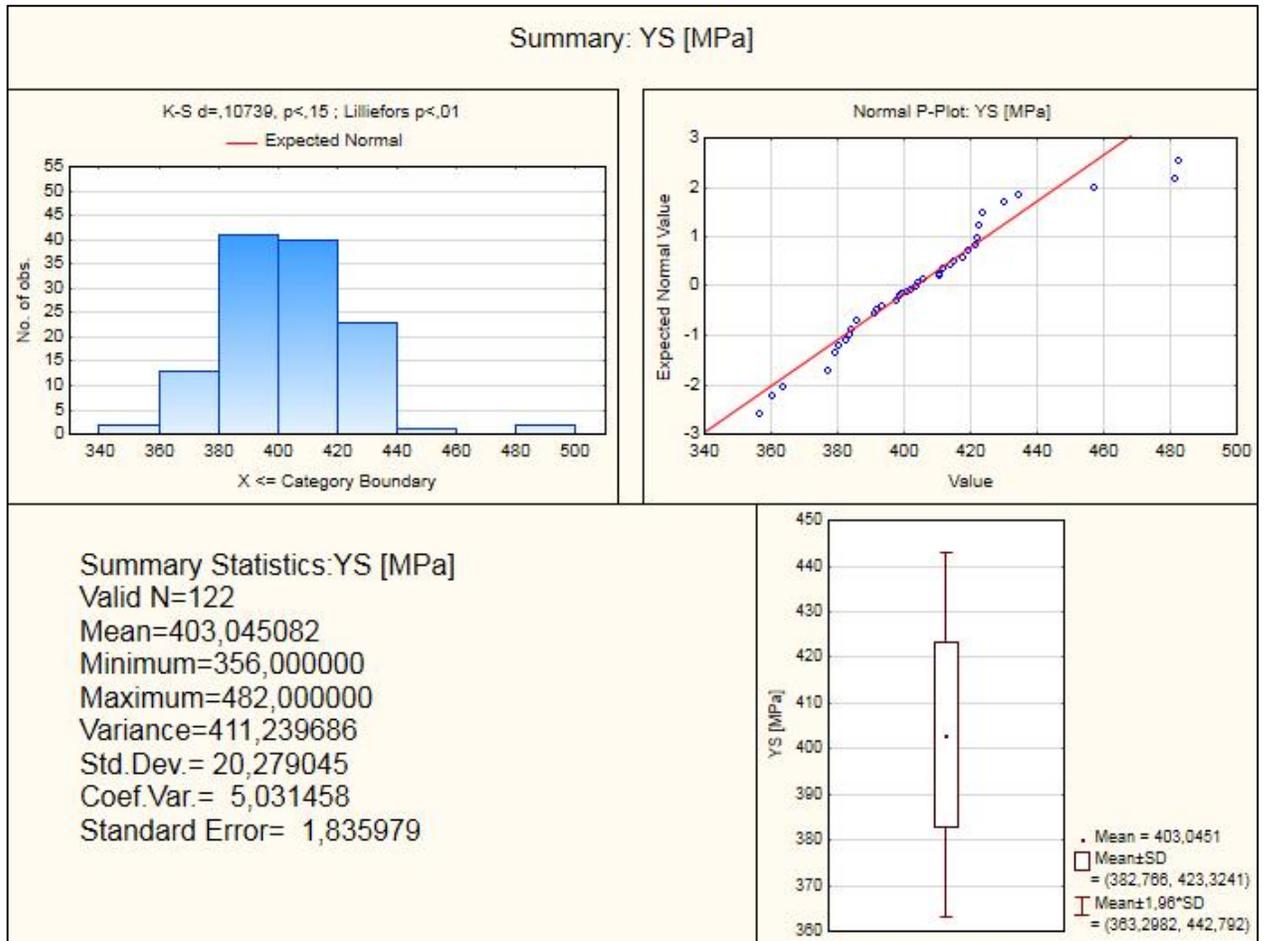


Gráfico N°42: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Ucrania”

En el histograma anterior, se puede ver que en este caso se consideraron menos intervalos. Esto se debe a la poca cantidad de observaciones que se tienen para esta calidad de acero importado. Además, se ve que el intervalo N°3 es el intervalo modal y que los intervalos N°4, 5 y 6 no están muy lejos de la frecuencia observada para ese intervalo.

Con lo anterior, se construye la función de distribución de probabilidad esperada.

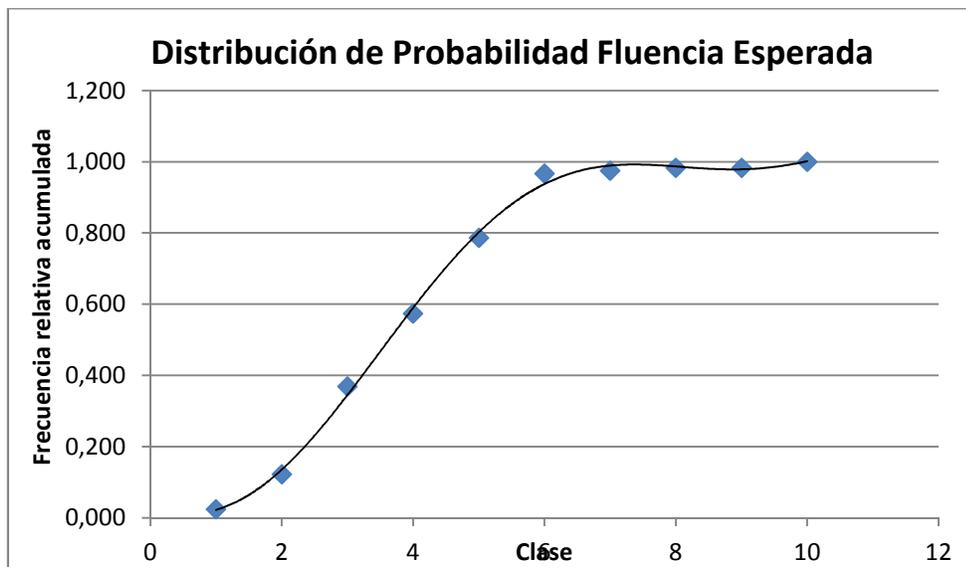


Gráfico N°43: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Ucrania"

Se aprecia del gráfico n°43 una gran irregularidad en la distribución de las observaciones.

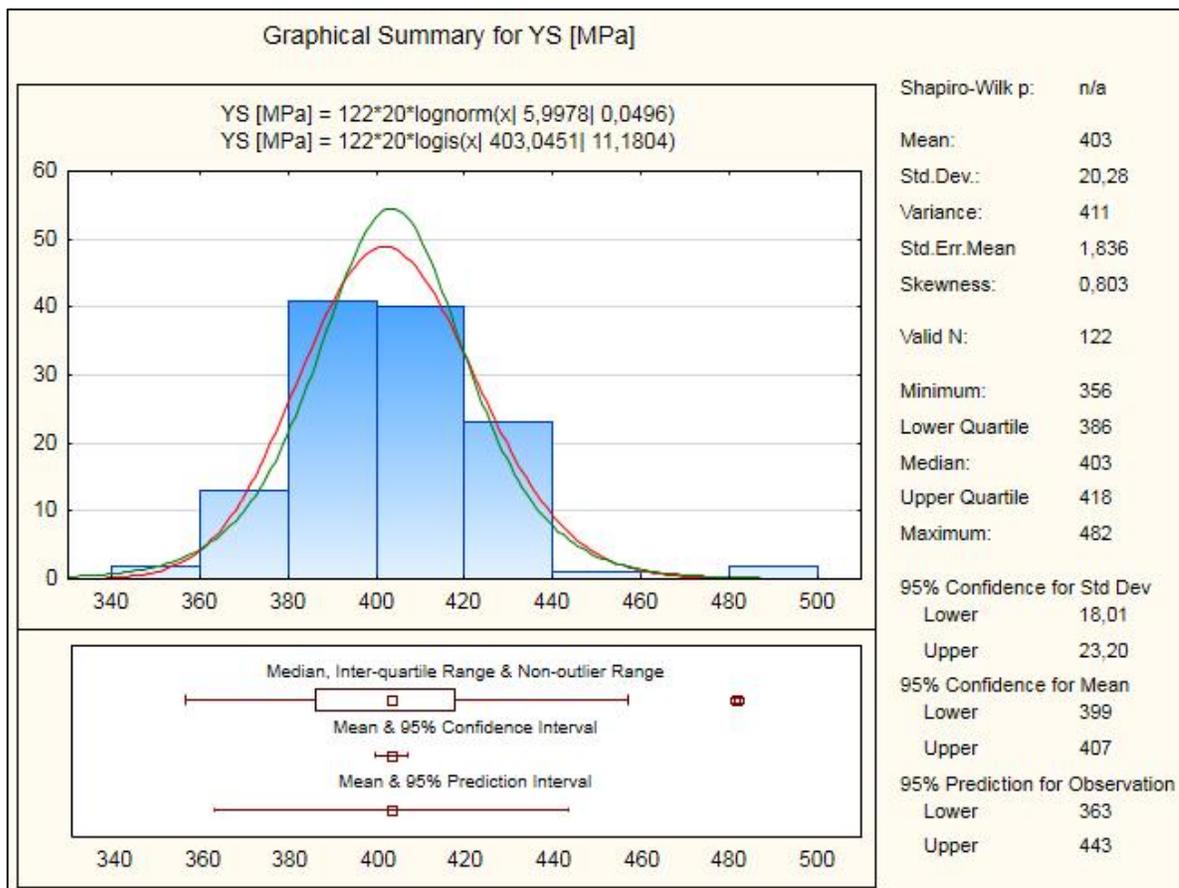


Gráfico N°44: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Ucrania"

Para este caso, las distribuciones que mejor se ajustan a la distribución observada son la log-normal (rojo) y la logística (verde). Para la determinación de los coeficientes se opta por la log-normal, debido a que la logística se aleja en el valor de la media.

Posteriormente se hizo el mismo análisis para Rotura.

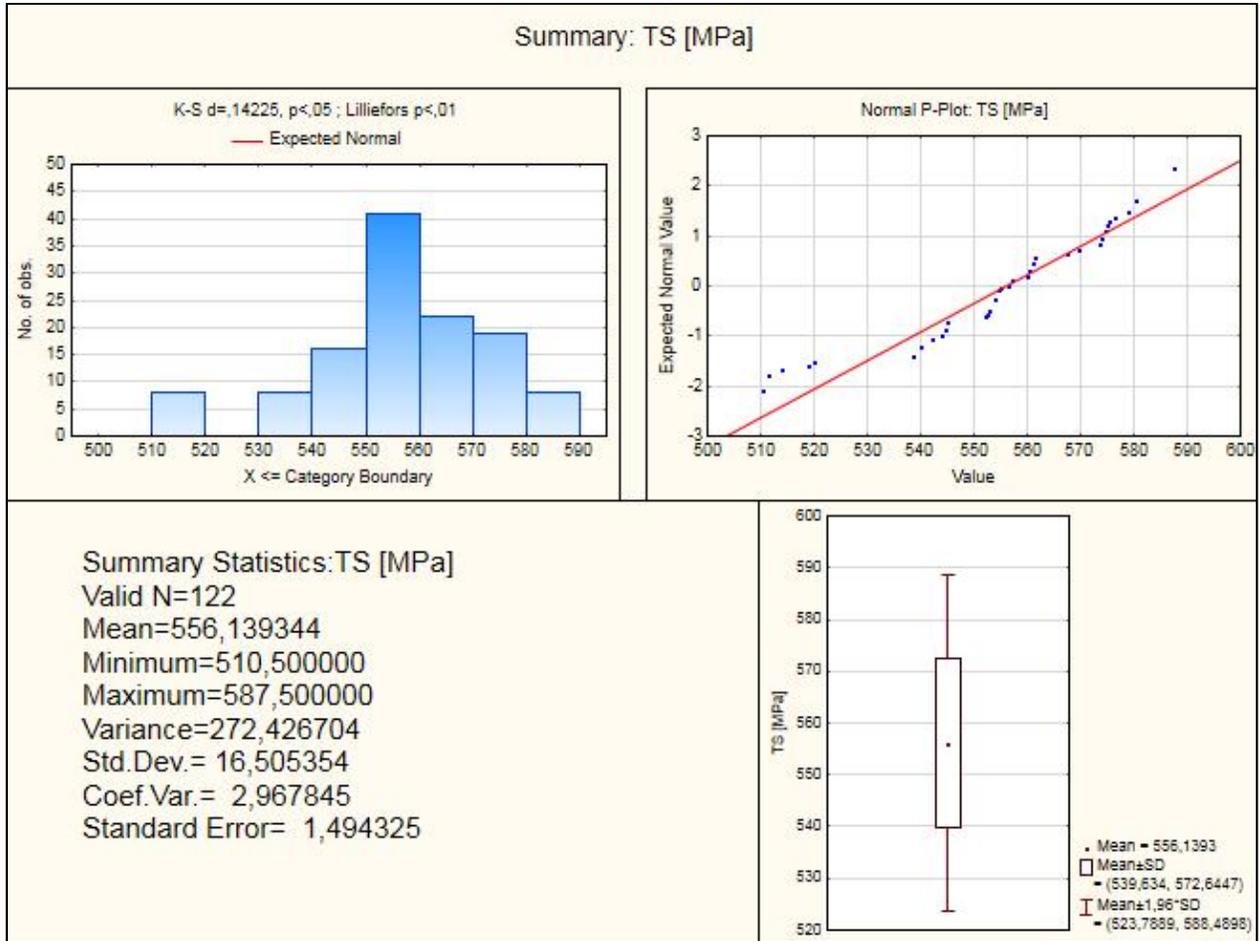


Gráfico N°45: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Ucrania"

Se ve del gráfico n°45 que hay una tendencia de los datos a agruparse en torno al tramo de 550 y 560 [MPa], lo que se condice con la media aritmética. Sin embargo, en el Normal P-Plot se observa una alta dispersión en los datos con respecto al valor esperado de la distribución normal.

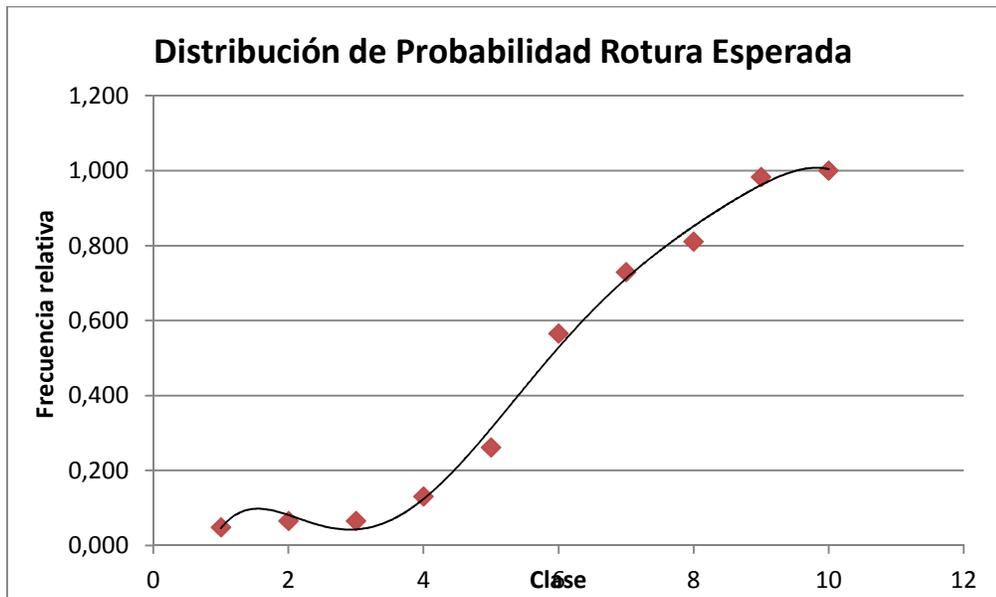


Gráfico N°46: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Ucrania"

Se ve en este caso que la Ojiva no tiene una homogeneidad como la que se espera a priori, lo que hace que la curva de tendencia tenga errores al compararla con una distribución teórica dada por una función que se grafica perfecto.

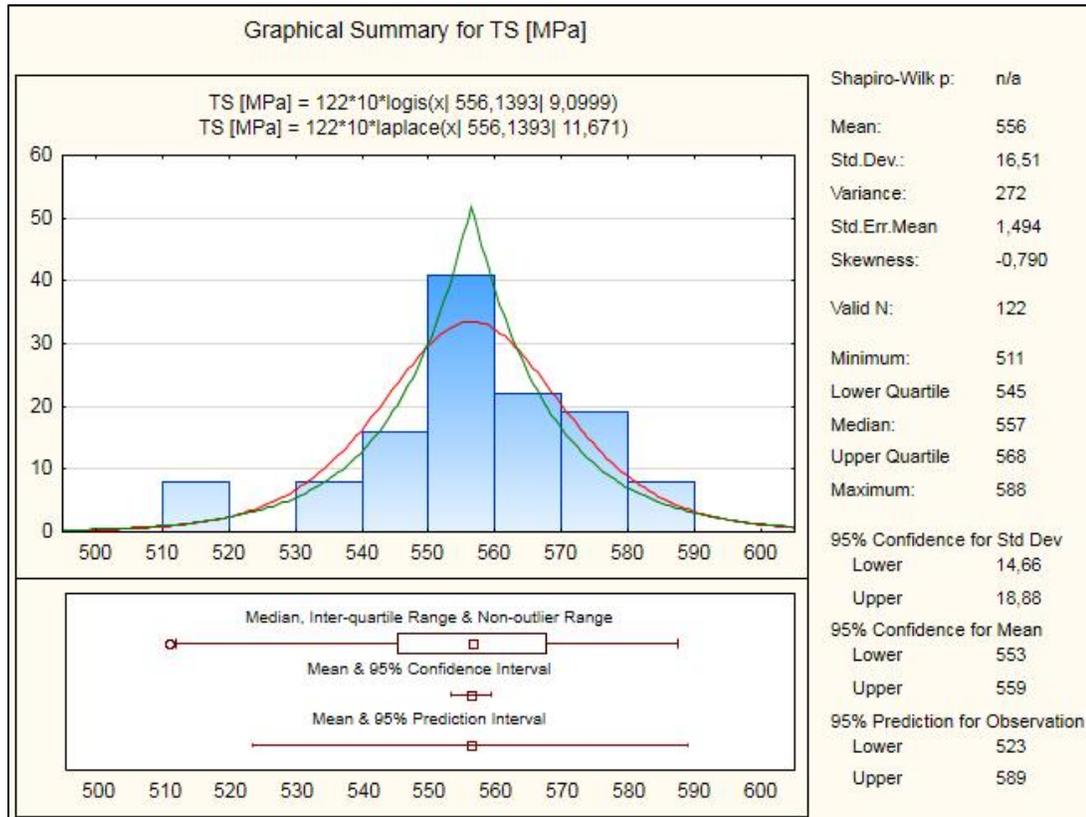


Gráfico N°47: "Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Ucrania"

Para este caso, las distribuciones que más se asemejan a la distribución observada son la Distribución de Laplace (verde) y la Logística (rojo), siendo la segunda la escogida debido a que tiene un mejor ajuste a la distribución real.

Con esto, se muestran los valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para el caso del Acero ASTM A572 Gr 50 proveniente de Ucrania.

Tabla N°18: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A572 Gr 50, Ucrania”

UCRANIA ASTM A572 Gr 50	Ry	Rt
R Promedio	1,23	1,27
R Promedio Ponderado	1,23	1,27
R Percentil 84	1,22	1,28

3.2.2.5 Rollos Laminados en Caliente elaborados en Chile

Acero CAP[27] es el mayor fabricante de aceros laminados en nuestro país, por lo que su influencia en este estudio no es menor. Sin embargo, como análisis estadístico es poco lo que se puede hacer en este caso dadas las condiciones mencionadas en 3.1.1. De esta manera, los valores obtenidos para los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para los rollos laminados en caliente elaborados en nuestro país, son los mismos que los que se vieron en 3.3.1.3 y 3.3.1.4. Por lo tanto, los valores de R_y y R_t que se mostrarán a continuación, son los mismos que los que se vieron en los puntos mencionados.

3.2.2.5.1 Rollos Laminados en Caliente A270ES

$$R_y = 1.25$$

$$R_t = 1.15$$

3.2.2.5.2 Rollos Laminados en Caliente A345ES

$$R_y = 1.26$$

$$R_t = 1.14$$

3.3.3 Resultados según año de importación o elaboración

Otra de las inquietudes que se tienen de este estudio, es cómo podrían variar los valores de los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados a medida que van pasando los años, puesto que pueden mantener cierta tendencia a lo largo del tiempo o efectivamente variar año a año, lo que cambiaría el valor de los coeficientes globales obtenidos en este estudio. Ante ello, se hizo un estudio estadístico análogo a los anteriores considerando este caso.

Para mostrar los resultados obtenidos, se consideraron en primera instancia los aceros importados según cada año debido a que se tienen datos más detallados de ellos. Posteriormente, se muestran los datos que CAP envió divididos por año según las calidades que se utilizan en el país, no teniendo tanto detalle de ellos, se opta por utilizar el promedio simple en cada año y mostrar una tabla que contenga los coeficientes.

Cabe destacar, que en los años 2007 y 2009 no se hicieron importaciones de acero calidad ASTM A572 Gr 50 a nuestro país, por lo que los resultados obtenidos para esos años sólo consideran ASTM A36. Lo mismo ocurre para los años 2011 y 2012, con la diferencia que en estos años sí hubo importaciones de calidad ASTM A572 Gr 50, pero no fueron significativas

3.3.3.1 Planchas de Acero importadas en el año 2006

Según los datos recopilados, durante el año 2006 se importaron casi 8 mil toneladas de acero calidad ASTM A36 y poco más de 1100 toneladas de ASTM A572 Gr 50. Los resultados se muestran por separado a continuación.

3.3.3.1.1 ASTM A36, 2006

Para el caso del acero calidad ASTM A36 se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla N°19: "Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Año 2006"

AÑO 2006 ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	324,0	464,8
Promedio Ponderado	322,9	461,6
Mediana	342,5	461,5
Intervalo Modal	[320,326[(10)	[450,456[(7)
Desviación Estándar	18,36	26,33
Diferencia Mediana y Media	5,71%	0,71%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	6,08%	0,03%
Valor Percentil 84	335	490,5

Se puede ver de la tabla que la mediana del caso de Fluencia está muy por sobre los otros valores de tendencia central. Incluso, la Media y Media Ponderada están dentro del intervalo modal. El caso de Rotura es distinto, pues los valores de la Media, Media Ponderada y Mediana están por sobre el límite superior del intervalo modal.

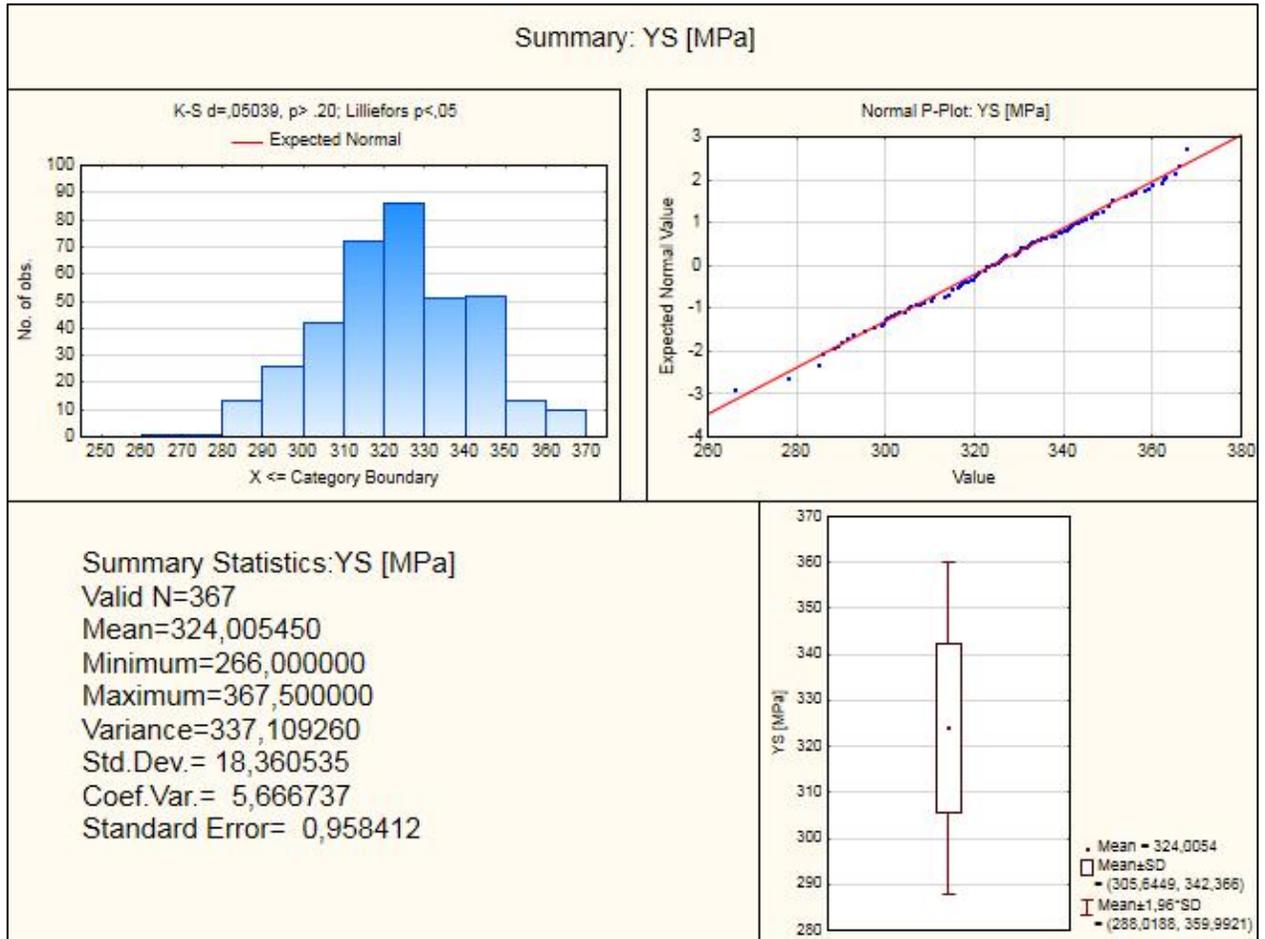


Gráfico N°48: "Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2006"

Se ve del histograma la particularidad que se apreciaba a priori en la tabla N°19. Además, se puede ver que a pesar que el intervalo entre 320 y 330 [MPa] es el intervalo modal, el intervalo entre 310 y 320 [MPa] también tiene una alta frecuencia. El Normal P-Plot indica una clara tendencia de los datos a distribuir normalmente.

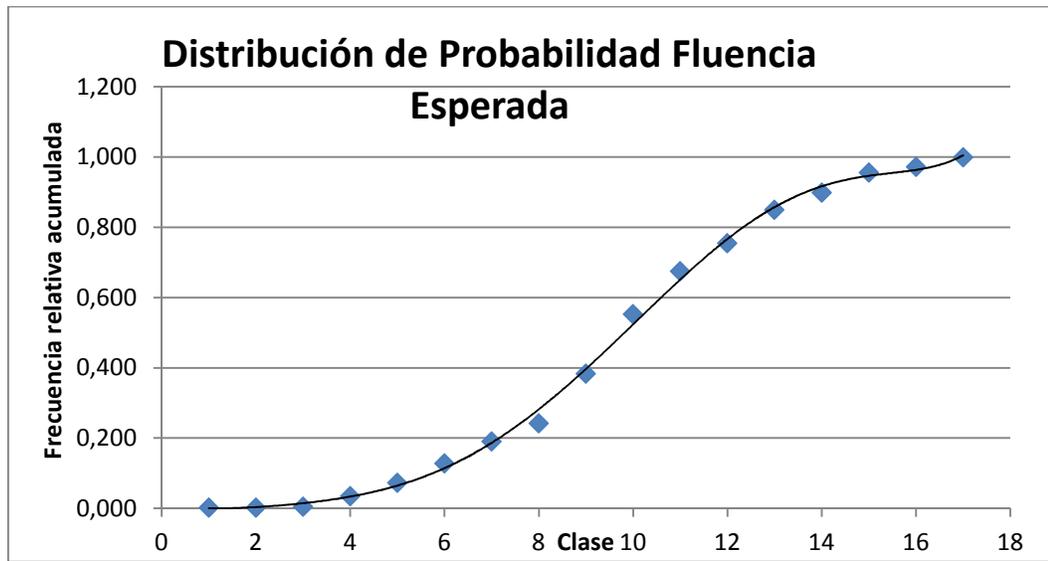


Gráfico N°49: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2006"

Se puede apreciar una distribución homogénea de los datos en este caso, tal como lo muestra la ojiva del gráfico N°49.

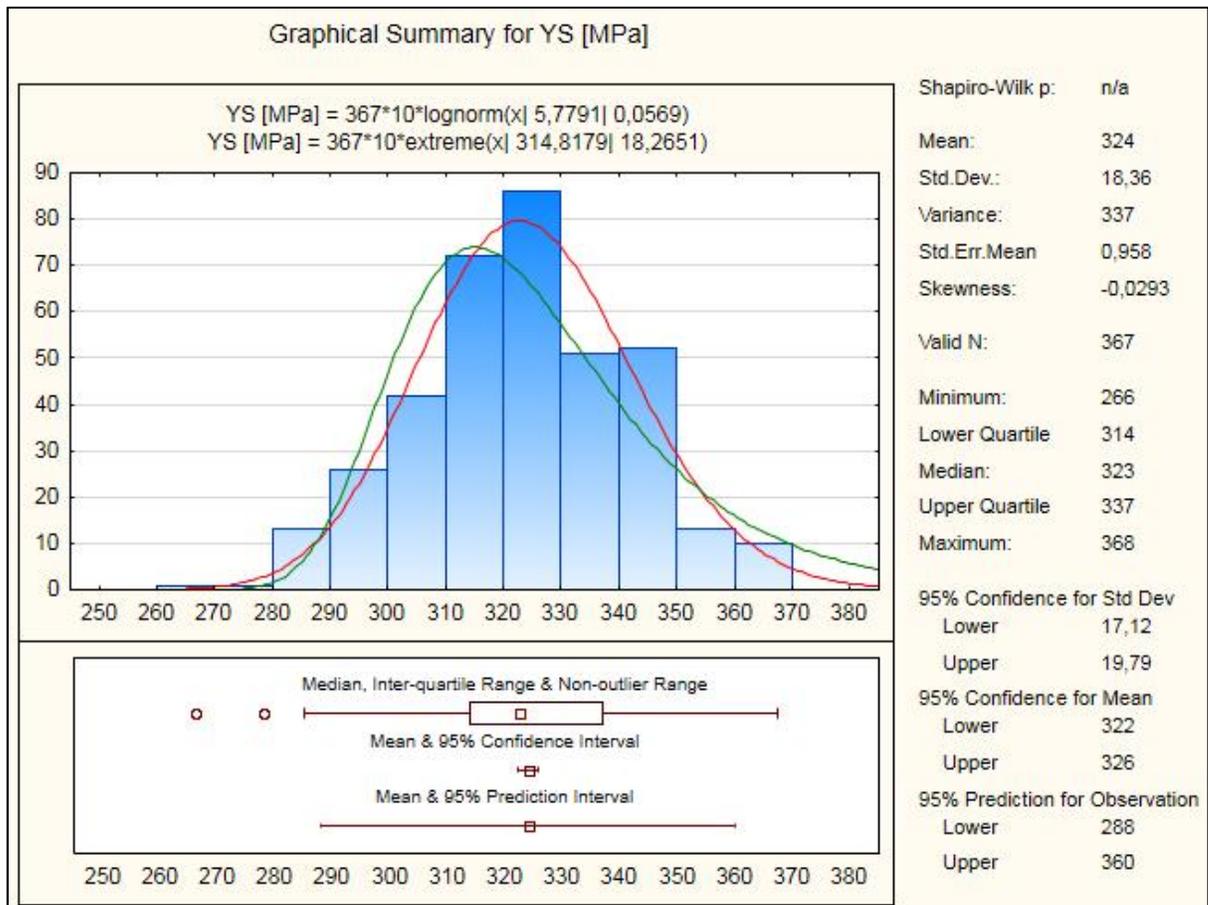


Gráfico N°50: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2006"

Las distribuciones que mejor se ajustan a la distribución observada en este caso, son la log-normal (rojo) y la extrema (verde), pero es claro que la que mejor se ajusta a la realidad del estudio es la log-normal, la cual se escoge para hacer el análisis respectivo.

Ahora, se muestran a continuación los resultados obtenidos para el caso de Rotura Esperada.

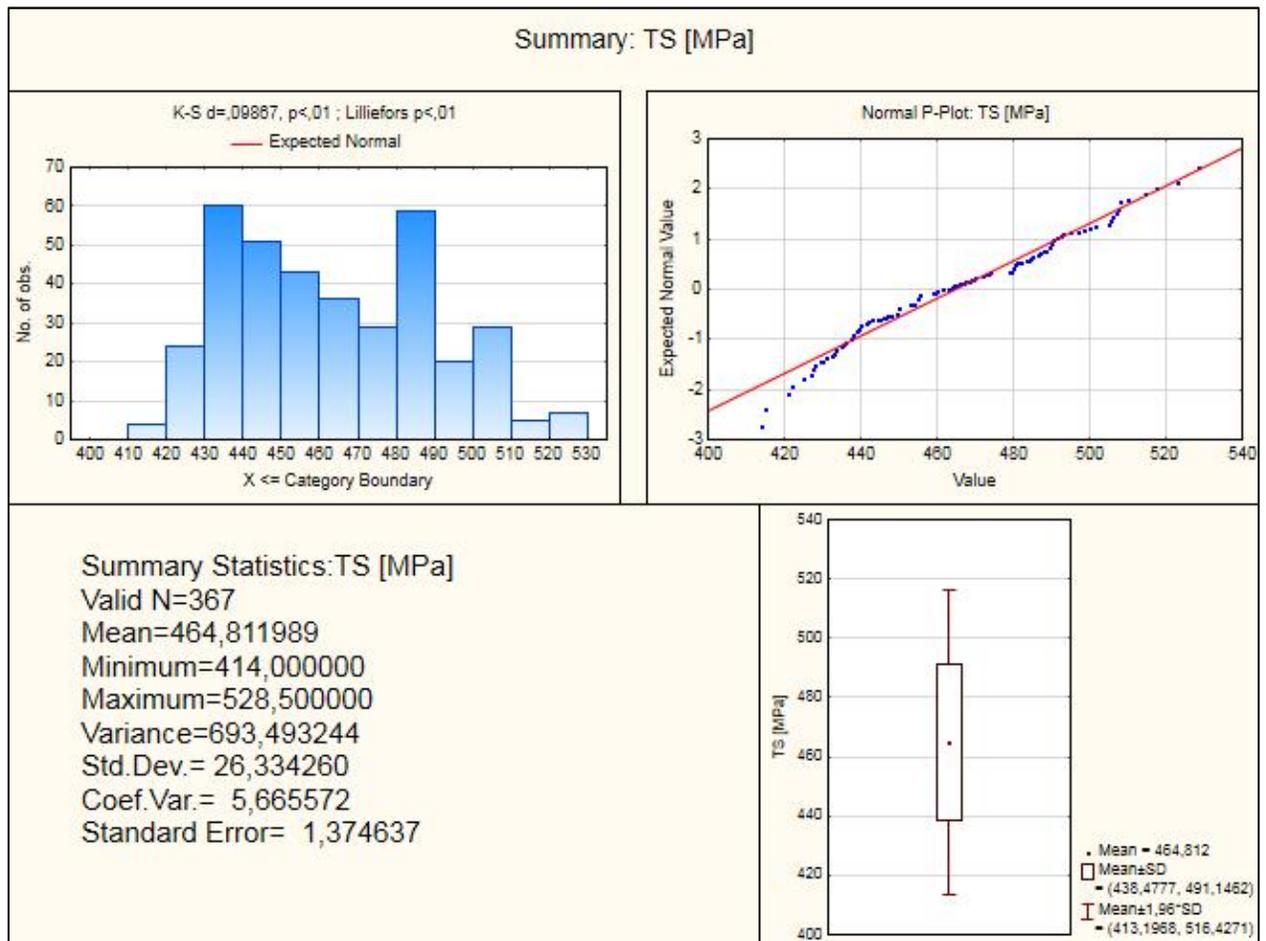


Gráfico N°51: “Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Brasil”

El histograma del Gráfico N°51 muestra claramente que no hay una clara tendencia a agruparse en torno al intervalo modal, puesto que los primeros intervalos tienen altas frecuencias también. Además, el grafo Normal P-Plot entrega una tendencia con altas dispersiones de la normalidad de los datos obtenidos.

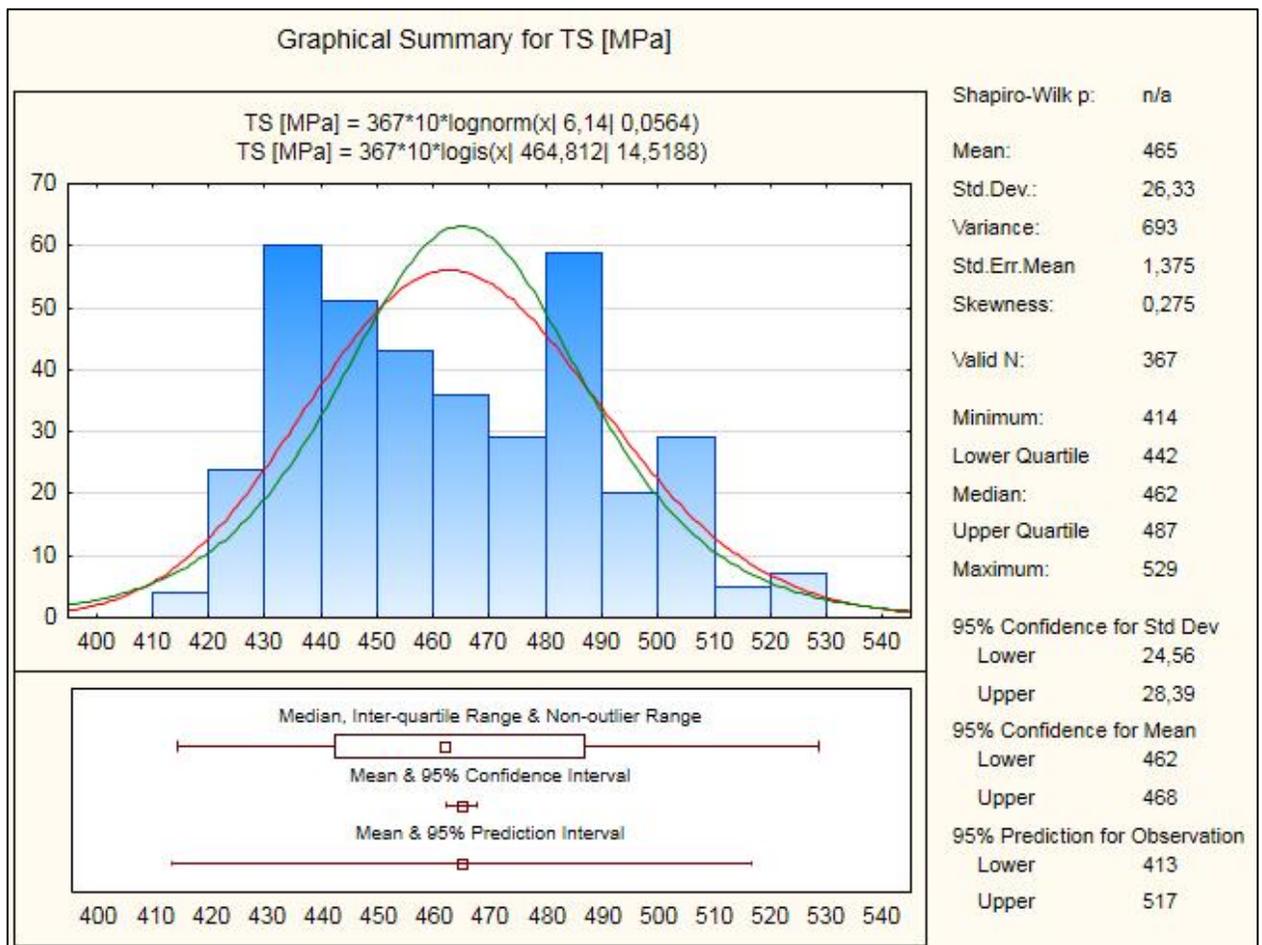


Gráfico N°52: “Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2006”

Para este caso, las mejores curvas de distribución que representan a la distribución real son la Logística (verde) y la log-normal (rojo). Sin embargo, ambas son insuficientes para hacer un análisis basándose en ellas, por lo que en este caso se opta por hacerlo directo de los datos.

De esta manera, los valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para el caso del acero ASTM A36 importado durante el año 2006, están dados por la siguiente tabla.

Tabla N°20: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Año 2006”

AÑO 2006 ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,37	1,20
R Promedio Ponderado	1,36	1,19
R Percentil 84	1,34	1,20

3.3.3.1.2 ASTM A572 Gr 50, 2006

El caso del acero ASTM A572 Gr 50 es particular, pues se importaron muy pocas toneladas de esa calidad durante el año 2006. Aun así, se hizo el análisis respectivo de los datos obtenidos.

Tabla N°21: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2006”

AÑO 2006 ASTM A572 Gr 50	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	345,0	450,0
Media	404,4	550,1
Promedio Ponderado	404,5	551,3
Mediana	405,0	550,0
Intervalo Modal	[404,411[(8)	[560,564[(11)
Desviación Estándar	22,23	12,75
Diferencia Mediana y Media	0,16%	0,01%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	0,11%	0,24%
Valor Percentil 84	420,0	560,0

Para el caso de Fluencia, se ve en la tabla N°21 que hay concordancia en los valores de tendencia central, cosa que no se ve para el caso de Rotura.

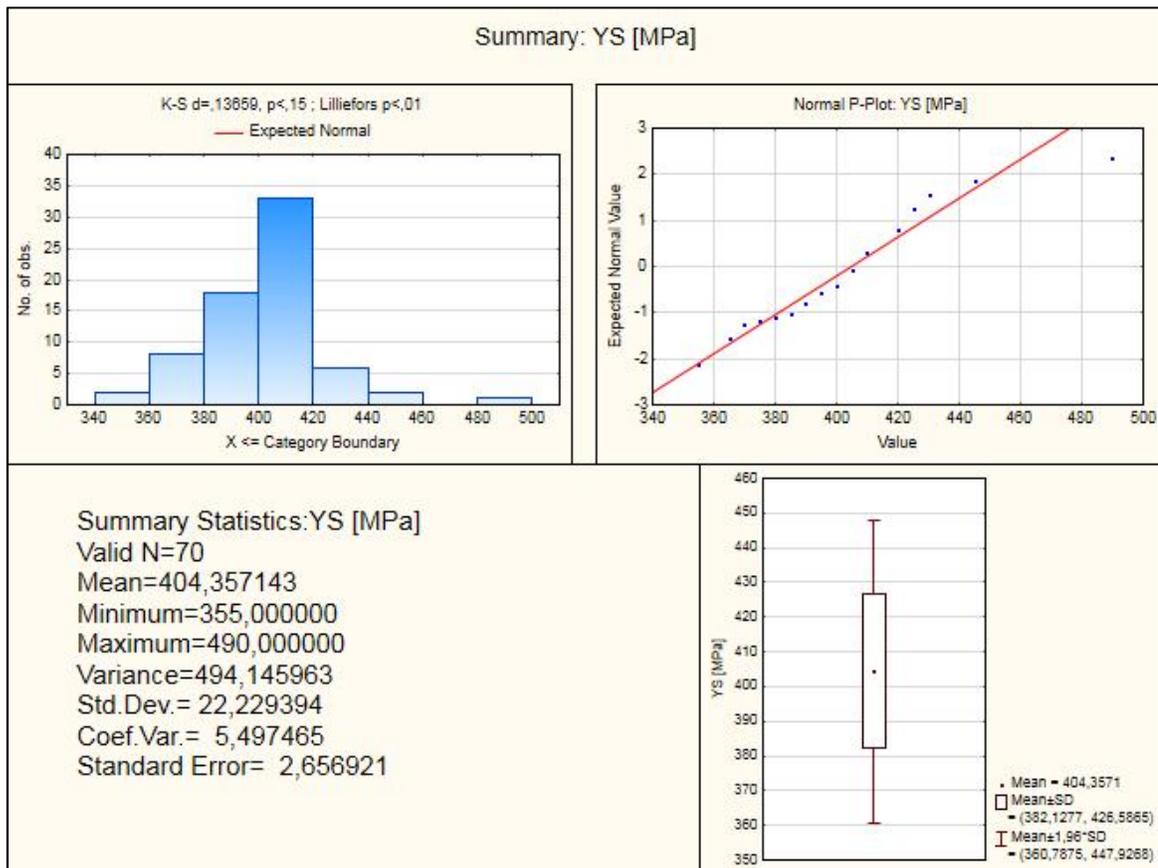


Gráfico N°53: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2006”

A pesar de lo que se pudo ver en la tabla N°21, se obtiene del histograma que no hay una distribución coherente, lo que se corrobora a continuación.

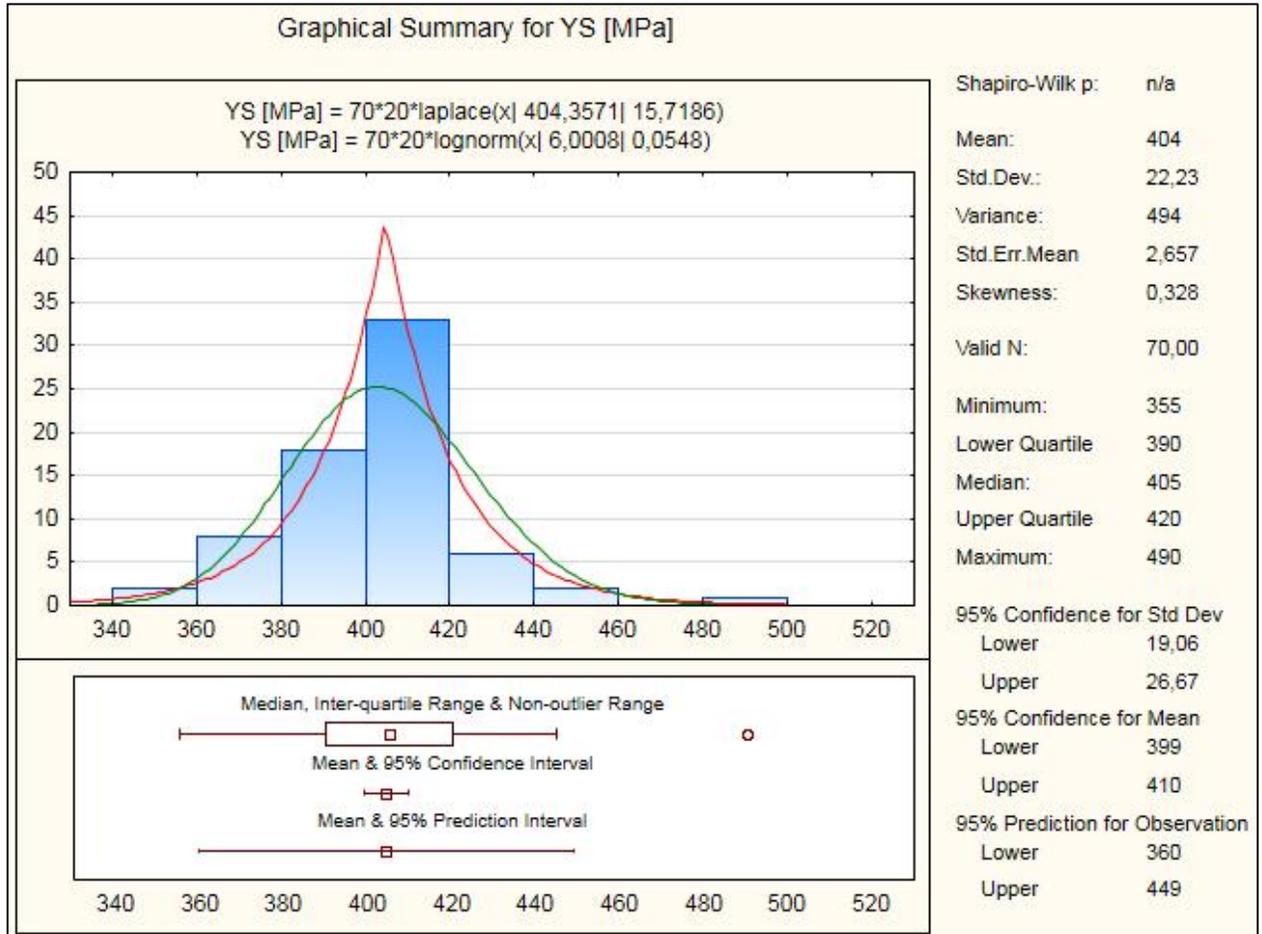


Gráfico N°54: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2006"

Se aprecia del gráfico n°54 que la distribución real se ajusta a las distribuciones log-normal (verde) y a una de Laplace (rojo), siendo la primera la escogida porque representa mejor lo que ocurre en los extremos de la distribución.

Ahora, se hace el análisis para el caso de rotura.

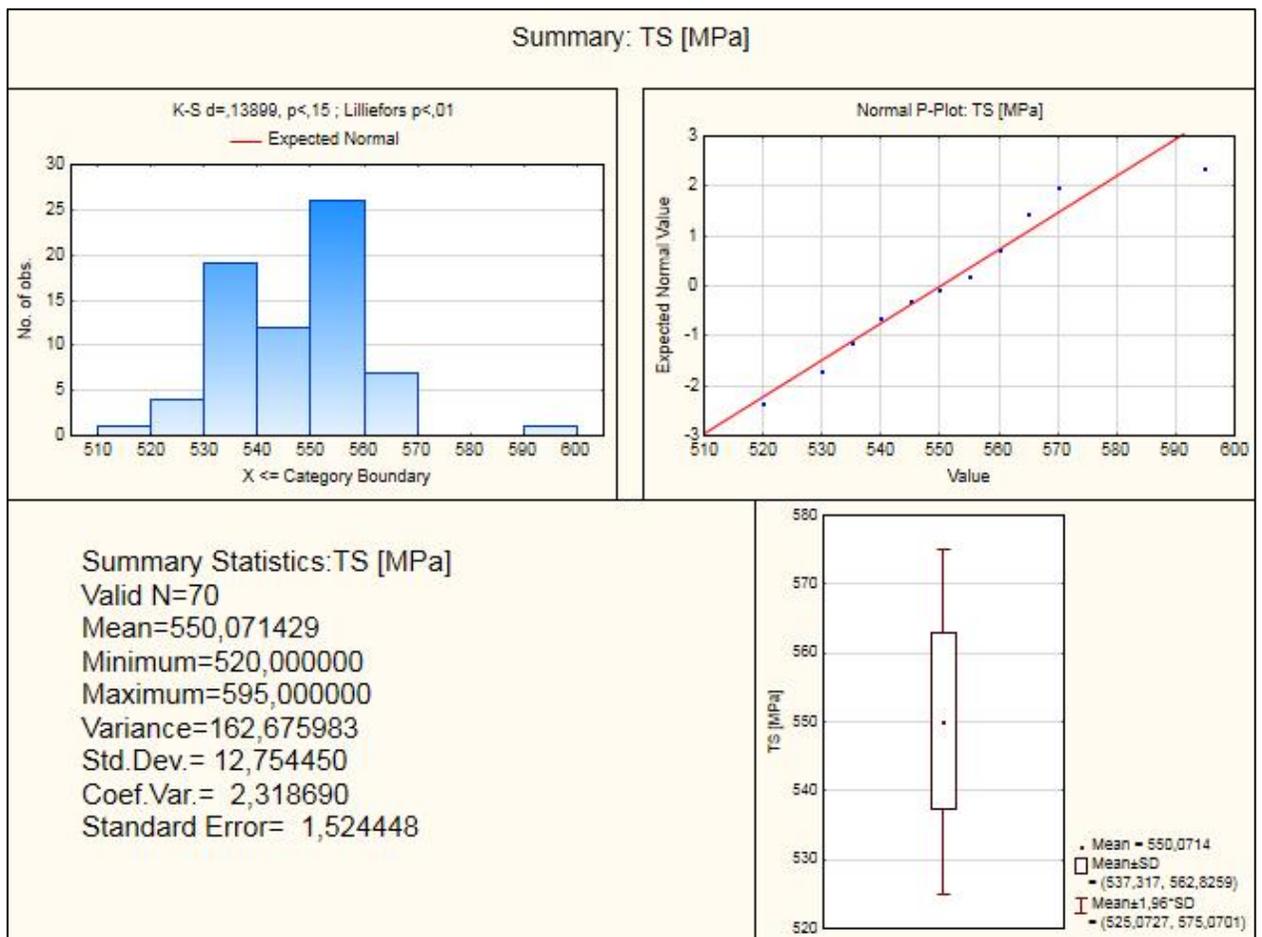


Gráfico N°55: “Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2006”

Se tienen muy pocas observaciones para este caso, pues se cuenta sólo con 70 datos (Valid N=70).

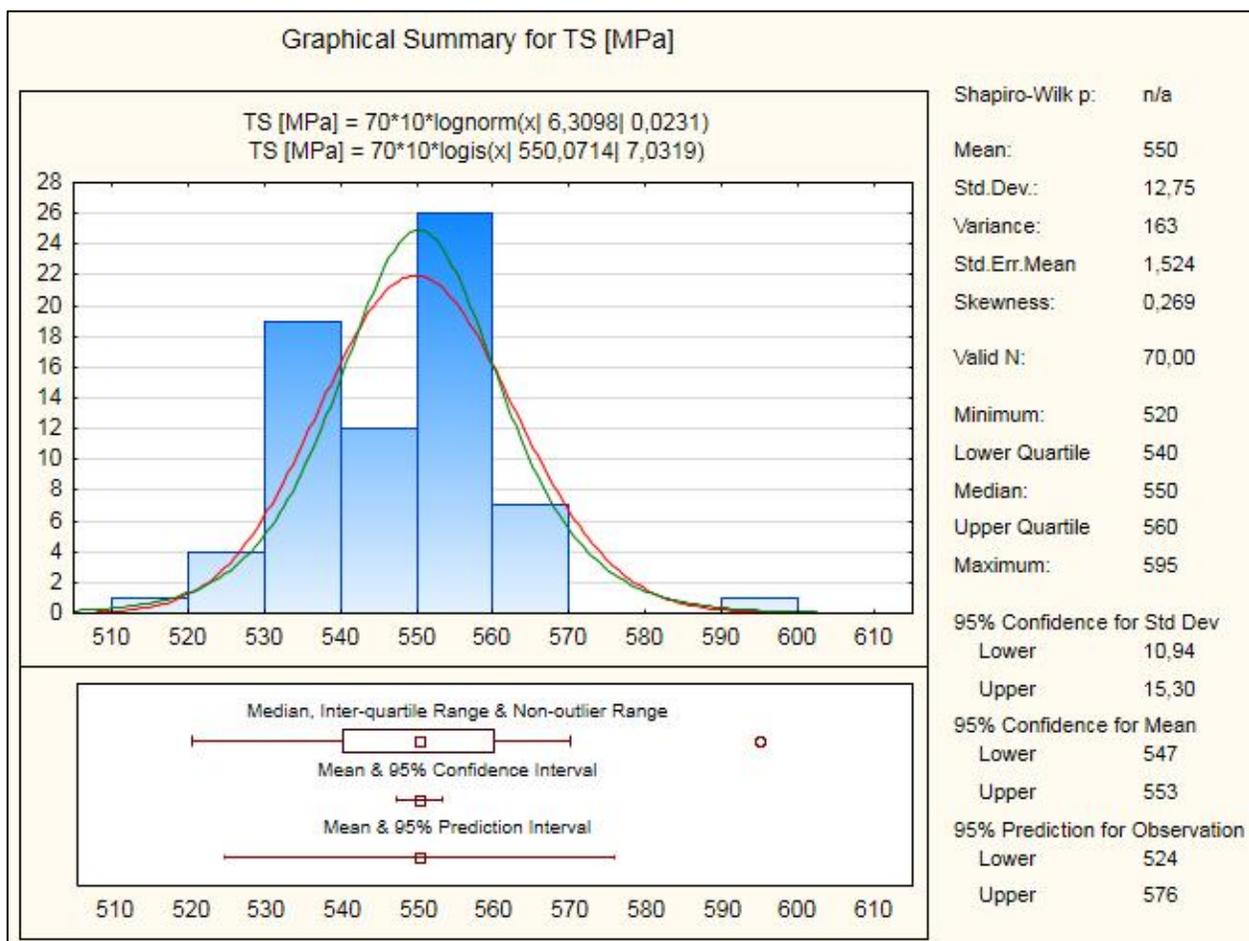


Gráfico N°56: “Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2006”

La distribución observada se asemeja a una log-normal (rojo) y una Logística (verde), pero dista en el número de observaciones que caen fuera de ello, dándole un gran grado de dispersión a los datos, que se explica con que se requiere que sean más los datos obtenidos.

Dada la baja cantidad de datos obtenidos para el acero ASTM A572 Gr 50 durante el año 2006, la obtención de los coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados no es tan pulcro como lo que se había visto anteriormente.

Así, los Coeficientes de Rotura y Fluencia Esperados para este caso, son los siguientes.

Tabla N°22: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A572 Gr 50, Año 2006”

AÑO 2006 ASTM A572 Gr 50	Ry	Rt
R Promedio	1,24	1,25
R Promedio Ponderado	1,24	1,25
R Percentil 84	1,22	1,24

3.3.3.2 Planchas de Acero ASTM A36 importadas en el año 2007

Como se dijo al comienzo de esta sección, en el año 2007 hubo importaciones únicamente de planchas de acero calidad ASTM A36, por lo que el análisis se hizo considerando esta situación.

Tabla N°23: "Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Año 2007"

AÑO 2007 ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	298,8	453,8
Promedio Ponderado	295,1	450,6
Mediana	295,0	450,2
Intervalo Modal	[279,287[(4)	[450,456[(7)
Desviación Estándar	26,42	21,15
Diferencia Mediana y Media	1,27%	0,80%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	0,04%	0,10%
Valor Percentil 84	324,7	475,0

Para el caso de Fluencia, se ve en la Tabla N°22 que los valores de tendencia central caen fuera del intervalo modal. Caso contrario es el que ocurre en Rotura, puesto que Media, Media Ponderada y Mediana caen dentro del intervalo modal.

El histograma de Fluencia es el siguiente.

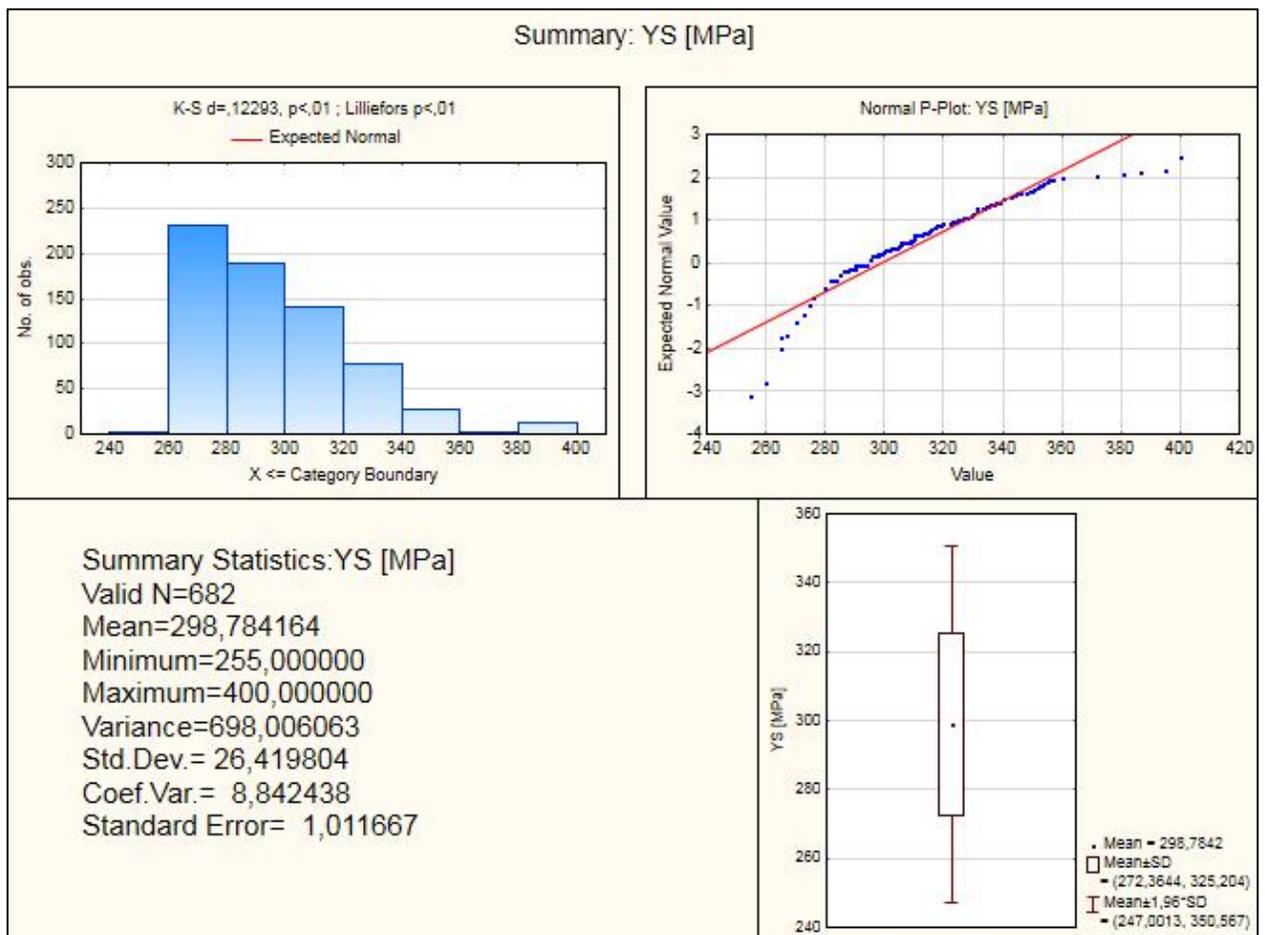


Gráfico N°57: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2007”

Se ve del gráfico n°57 que el histograma es escalonado, en que al momento de trazar una línea de tendencia se va a ver una recta q une los puntos entre el intervalo modal y el intervalo comprendido entre los valores 340 y 360. El Normal P-Plot indica que no hay normalidad en la distribución de los datos.

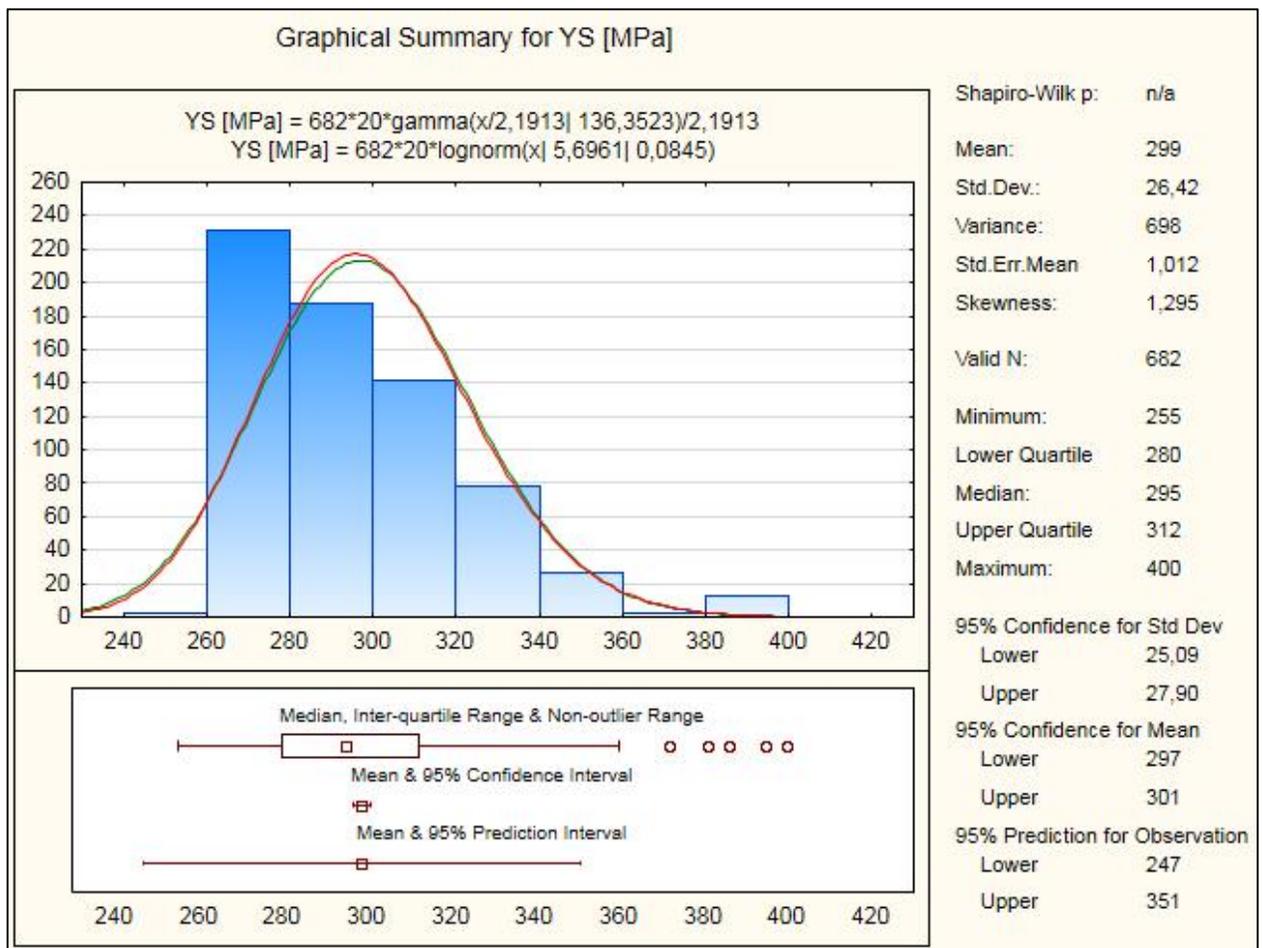


Gráfico N°58: “Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2007”

Del gráfico n° 58 podemos ver que no hay una distribución clara para este caso. Las distribuciones indicadas (Gamma en verde y Log-Normal en rojo) son las distribuciones de carácter teórico que mejor se asemejan a la distribución observada. Sin embargo, el resultado indica que para este caso no hay una distribución concreta, por lo que se opta por ocupar los datos directamente para la determinación del coeficiente de fluencia esperado.

De esta manera, se avanza a lo que sucede en el caso de Rotura.

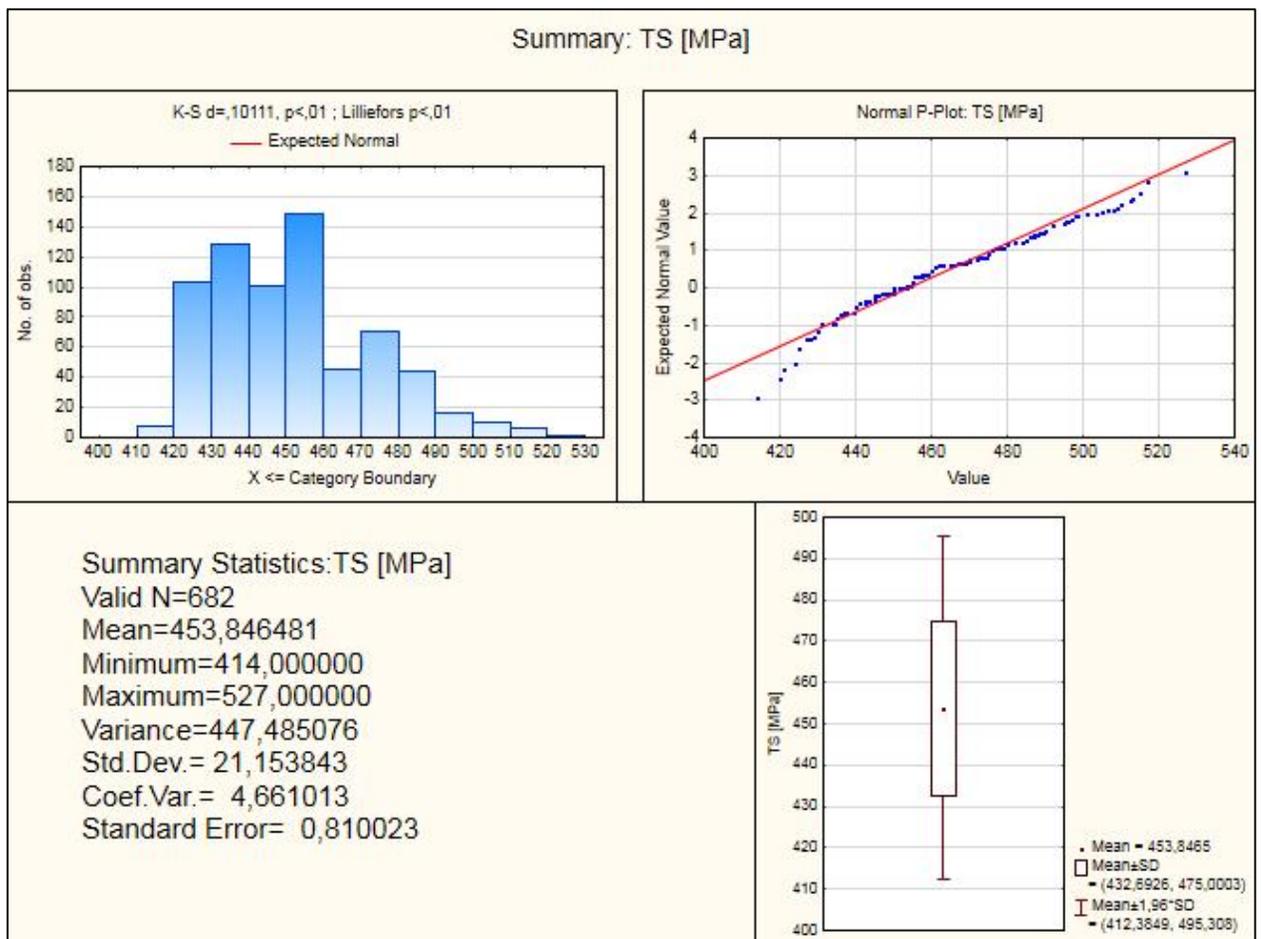


Gráfico N°59: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2007"

De acuerdo a la Tabla N°23 y al histograma mostrado, la curva de distribución de probabilidad debiera estar bien definida. Además, en el grafo Normal P-Plot se observa una tendencia de los datos a distribuir normalmente.

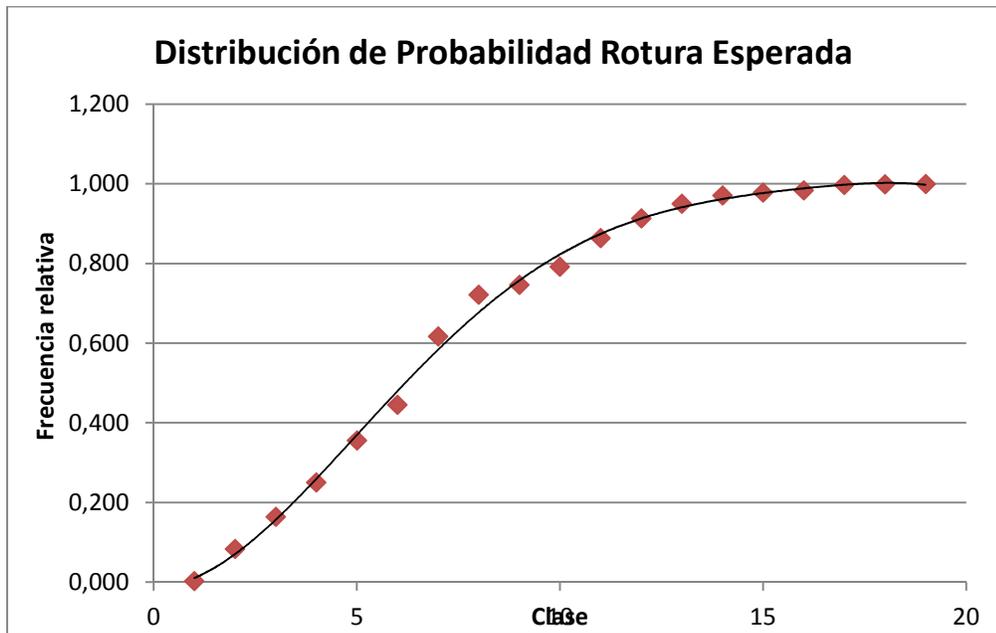


Gráfico N°60: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2007"

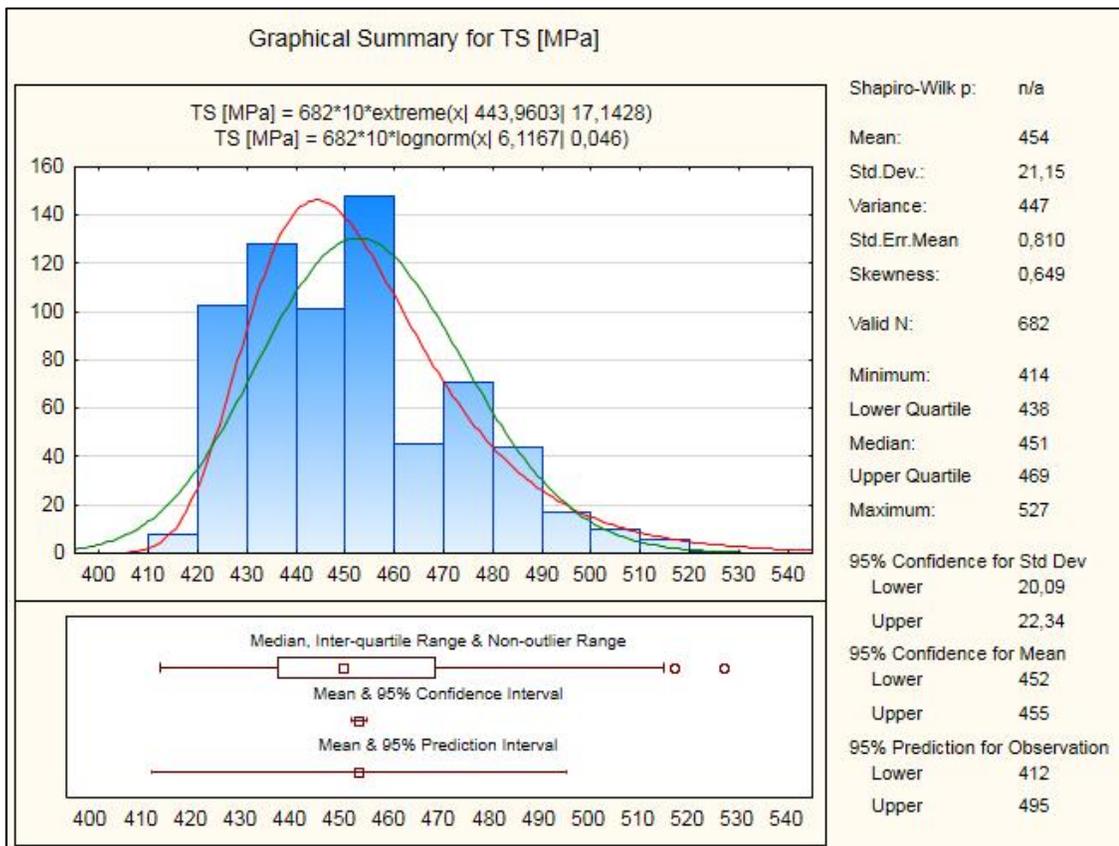


Gráfico N°61: "Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2007"

Se ve del gráfico n°61 que la distribución de los datos se asemeja a una distribución log-normal (verde) y a una extrema (rojo), pero esta última se ve mejor para este caso. Aun así, la dispersión es alta en los primeros tramos de la distribución.

Finalmente, los valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados obtenidos para la calidad de acero ASTM A36 importada al país durante el año 2007, son los siguientes.

Tabla N°24: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Brasil”

AÑO 2007 ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,30	1,16
R Promedio Ponderado	1,29	1,15
R Percentil 84	1,30	1,16

3.3.3.3 Planchas de Acero importadas en el año 2008

Durante el año 2008, se importaron desde distintos países planchas de acero de calidades ASTM A36 y ASTM A572 Gr 50, por lo que el análisis estará enfocado en ambas calidades.

3.3.3.3.1 ASTM A36, 2008

En este año, de acuerdo a los datos recopilados, se importaron más de 33 mil toneladas de acero ASTM A36 al país, provenientes de distintas latitudes. Los resultados de los análisis estadísticos son los siguientes.

Tabla N°25: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Año 2008”

AÑO 2008 ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	315,8	461,4
Promedio Ponderado	311,6	464,6
Mediana	315,0	460,0
Intervalo Modal	[330,339[(11)	[449,456[(8)
Desviación Estándar	29,44	26,34
Diferencia Mediana y Media	0,25%	0,30%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	1,08%	0,99%
Valor Percentil 84	335,0	490,0

De la tabla N°25 se ve que en ambos casos, Fluencia y Rotura, las medidas de tendencia central están fuera del intervalo modal, ya que están por debajo o por encima de los límites respectivos. Las diferencias porcentuales entre la mediana y la Media y Media Ponderada están dentro de los cánones que se han visto en el estudio.

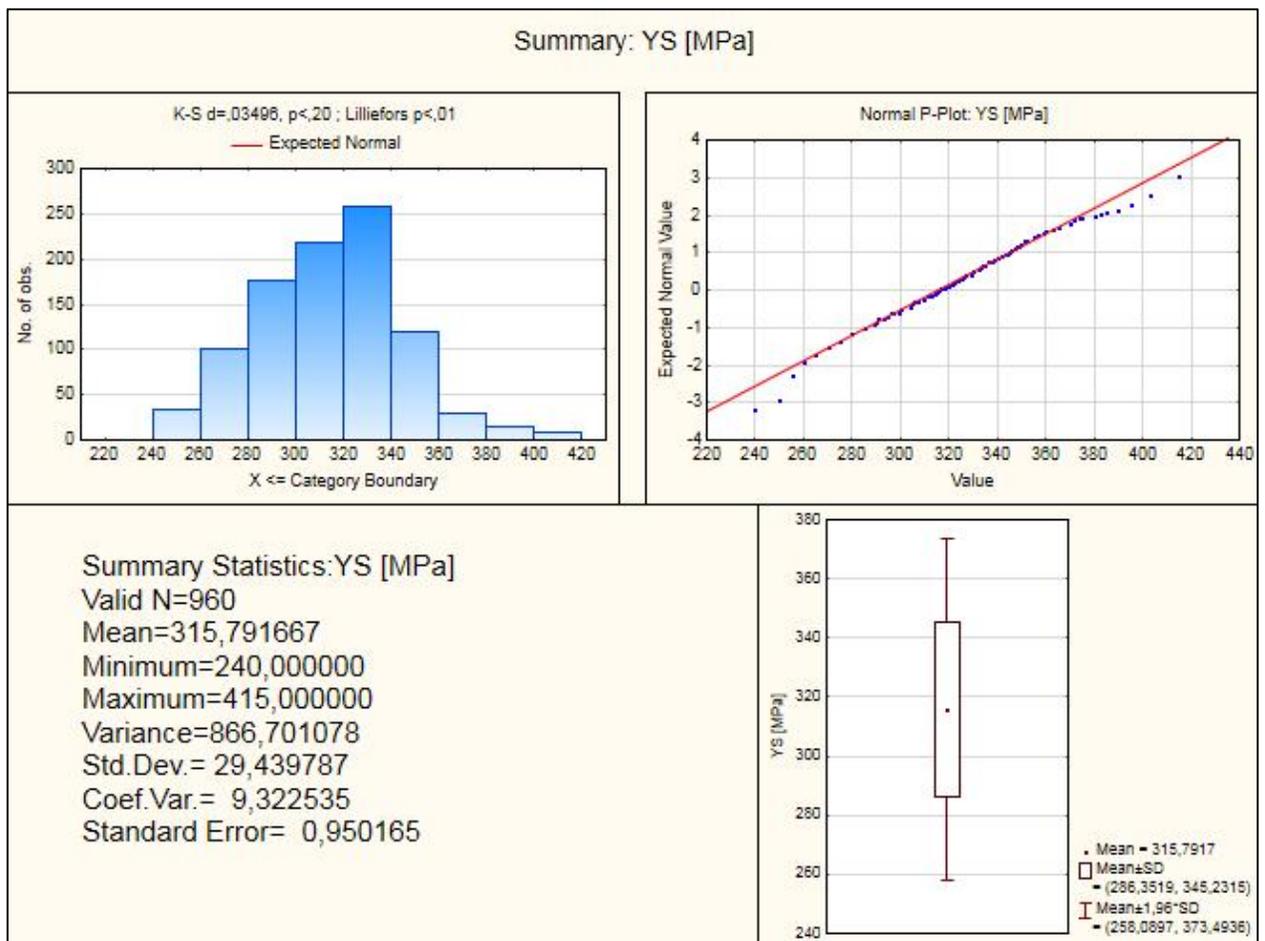


Gráfico N°62: "Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2008"

El Gráfico N°62 muestra una distribución observada que se parece bastante a una distribución Normal. Muy clara y fácil de reconocer. Se ve además que el intervalo modal está fuera del rango de normalidad y que por eso es que las medidas de tendencia central tienen esos valores en la tabla N°25. Con estas premisas, se hizo el estudio de la distribución de probabilidad que se ha visto anteriormente.

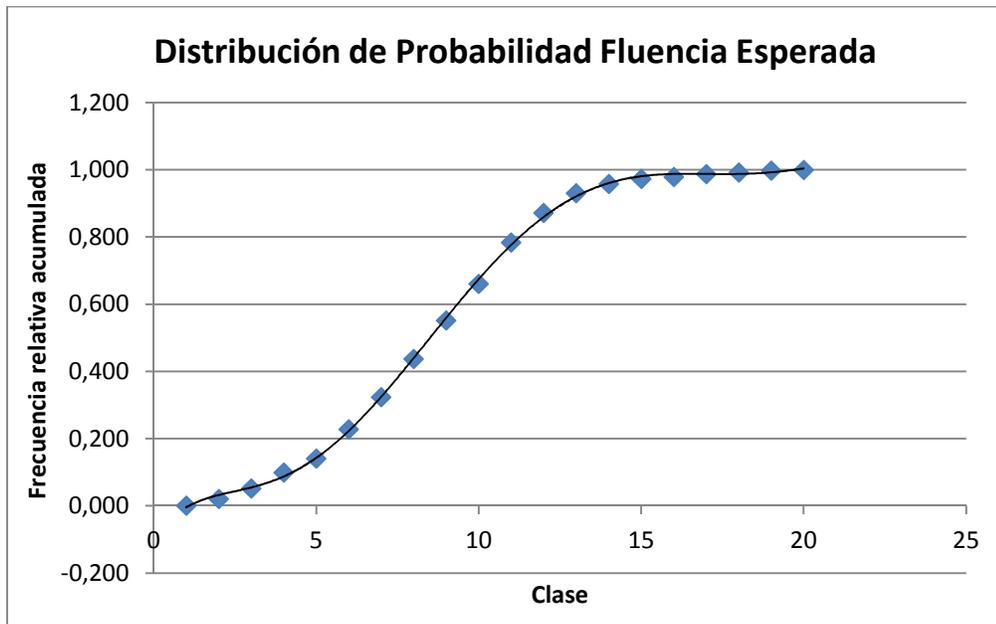


Gráfico N°63: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2008"

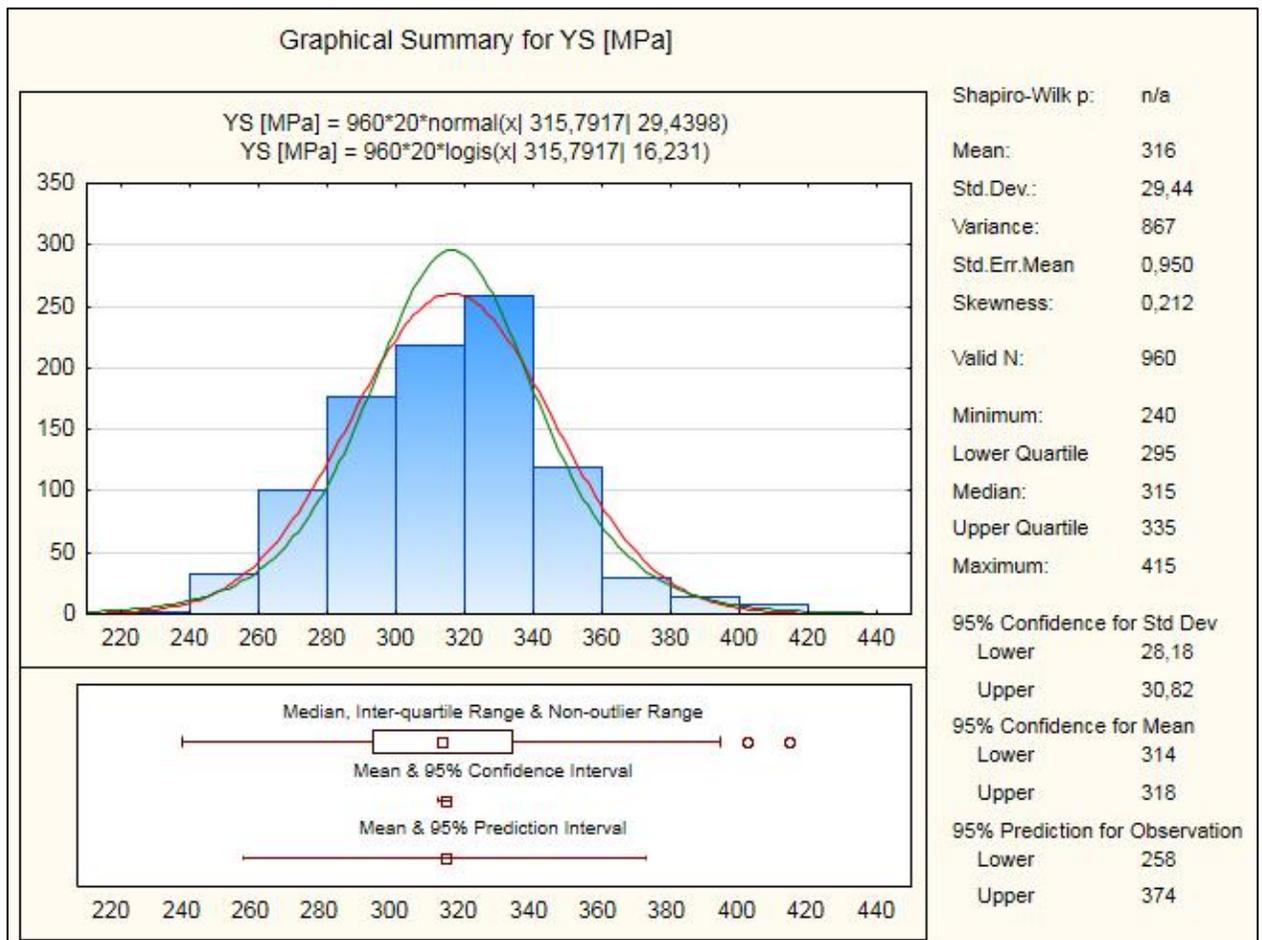


Gráfico N°64: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2008"

Del gráfico n°64 podemos rescatar la información que veíamos a priori. Las dos distribuciones que mejor se ajustan son la Logística (verde) y la Normal (rojo), siendo esta última la que se asimila mejor a la distribución observada, por lo que se escoge para determinar los valores de coeficientes de fluencia esperada.

Ahora, se analiza el caso de Rotura.

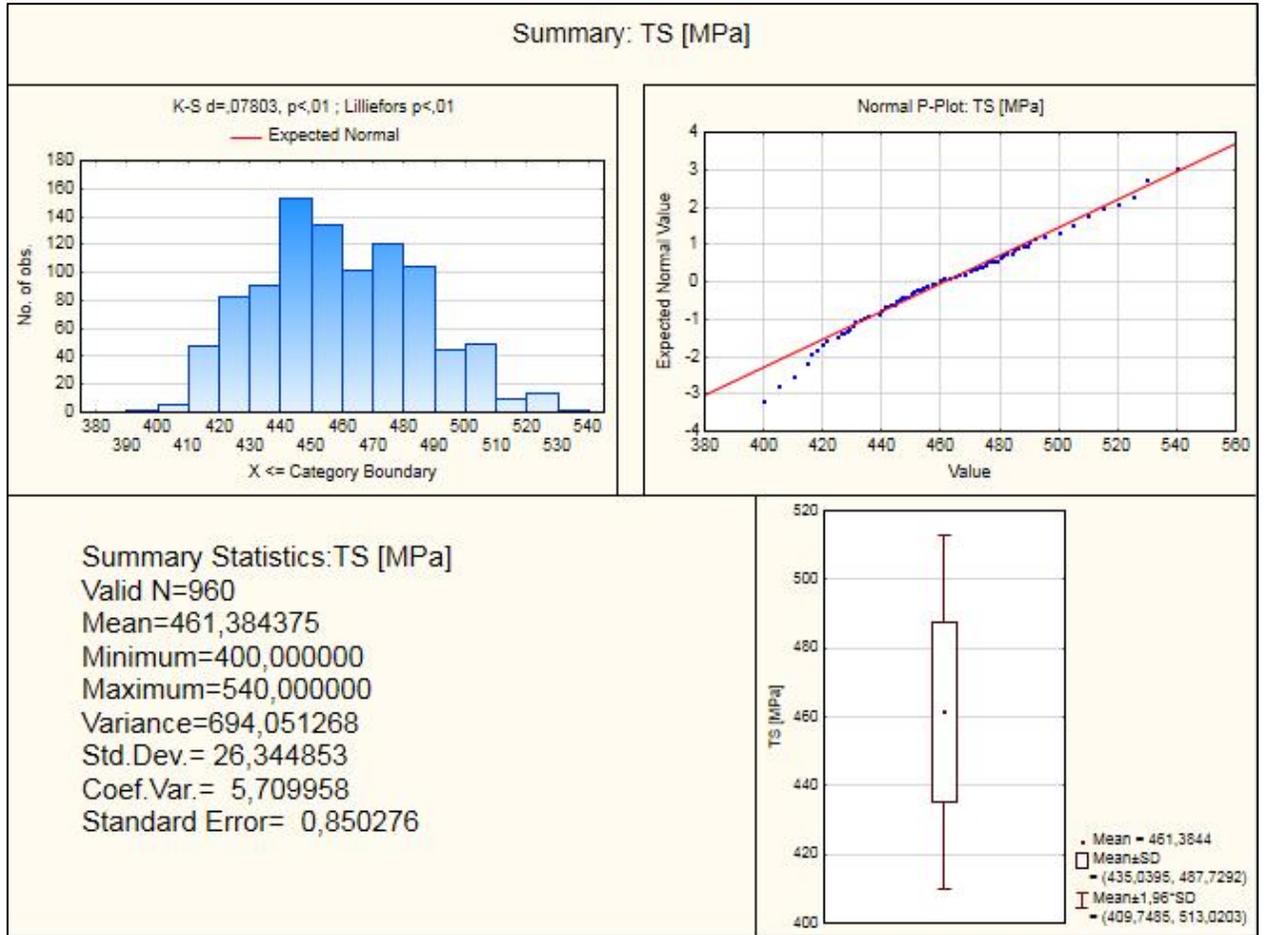


Gráfico N°65: “Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2008”

Como ha sido la tónica del estudio, se ve una alta dispersión en los valores observados en el gráfico N°65. Sin embargo, el Normal P-Plot entrega una cierta similitud de las observaciones con la normalidad para datos mayores a los 420 [MPa].

Con ello, se debe determinar la mejor distribución que se asemeje a lo ocurrido en el estudio.

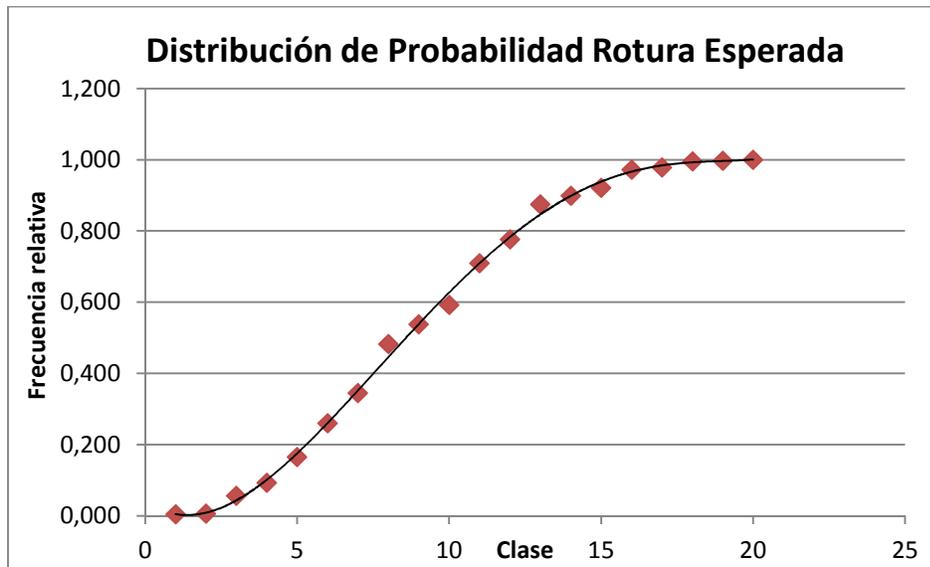


Gráfico N°66: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2008"

Del Gráfico N°66 se obtiene visualmente que la frecuencia de datos es bastante homogénea a pesar de lo que decía el histograma y corroborando lo entregado por el Normal P-Plot.

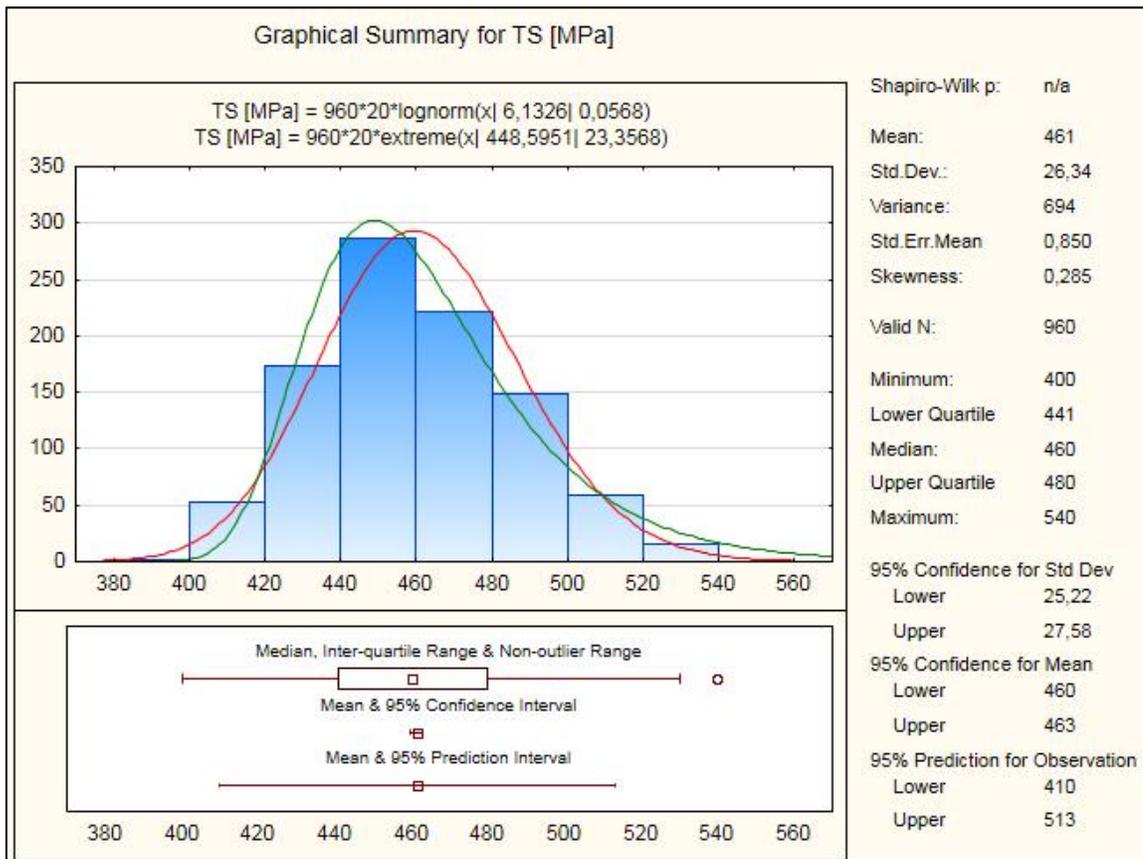


Gráfico N°67: "Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2008"

Del gráfico n°67 se ve que las distribuciones que mejor se ajustan a la distribución observada con la distribución log-normal (rojo) y la extrema (verde), siendo esta última la que tiene mejor grado de ajuste con la muestra de datos. Por lo tanto, será esta distribución la que se utiliza para calcular los coeficientes de rotura esperada.

Por último, se muestran los valores de los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados que se obtuvieron para el acero calidad ASTM A36 importado durante el año 2008.

Tabla N°26: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Año 2008”

AÑO 2008 ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,38	1,19
R Promedio Ponderado	1,36	1,20
R Percentil 84	1,34	1,20

3.3.3.3.2 ASTM A572 Gr 50, 2008

De acuerdo a los valores recopilados, durante el año 2008 se importaron a nuestro país más de 2300 toneladas de planchas de acero calidad ASTM A572 Gr 50, distribuidas en 139 planas de certificación de calidad. Los resultados obtenidos para este caso, son los siguientes.

Tabla N°27: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2008”

AÑO 2008 ASTM A572 Gr 50	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	345,0	450,0
Media	404,7	555,4
Promedio Ponderado	405,3	555,3
Mediana	404,0	555,0
Intervalo Modal	[411,422[(6)	[552,559[(7)
Desviación Estándar	20,12	15,54
Diferencia Mediana y Media	0,17%	0,07%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	0,32%	0,06%
Valor Percentil 84	421,5	573,5

La Tabla N°27 muestra que para el caso de Fluencia los valores de tendencia central caen fuera del intervalo modal, caso contrario a lo que sucede en el caso de Rotura. Aun así, en ambos casos las diferencias entre la Mediana y la Media o Media Ponderada son mínimas.

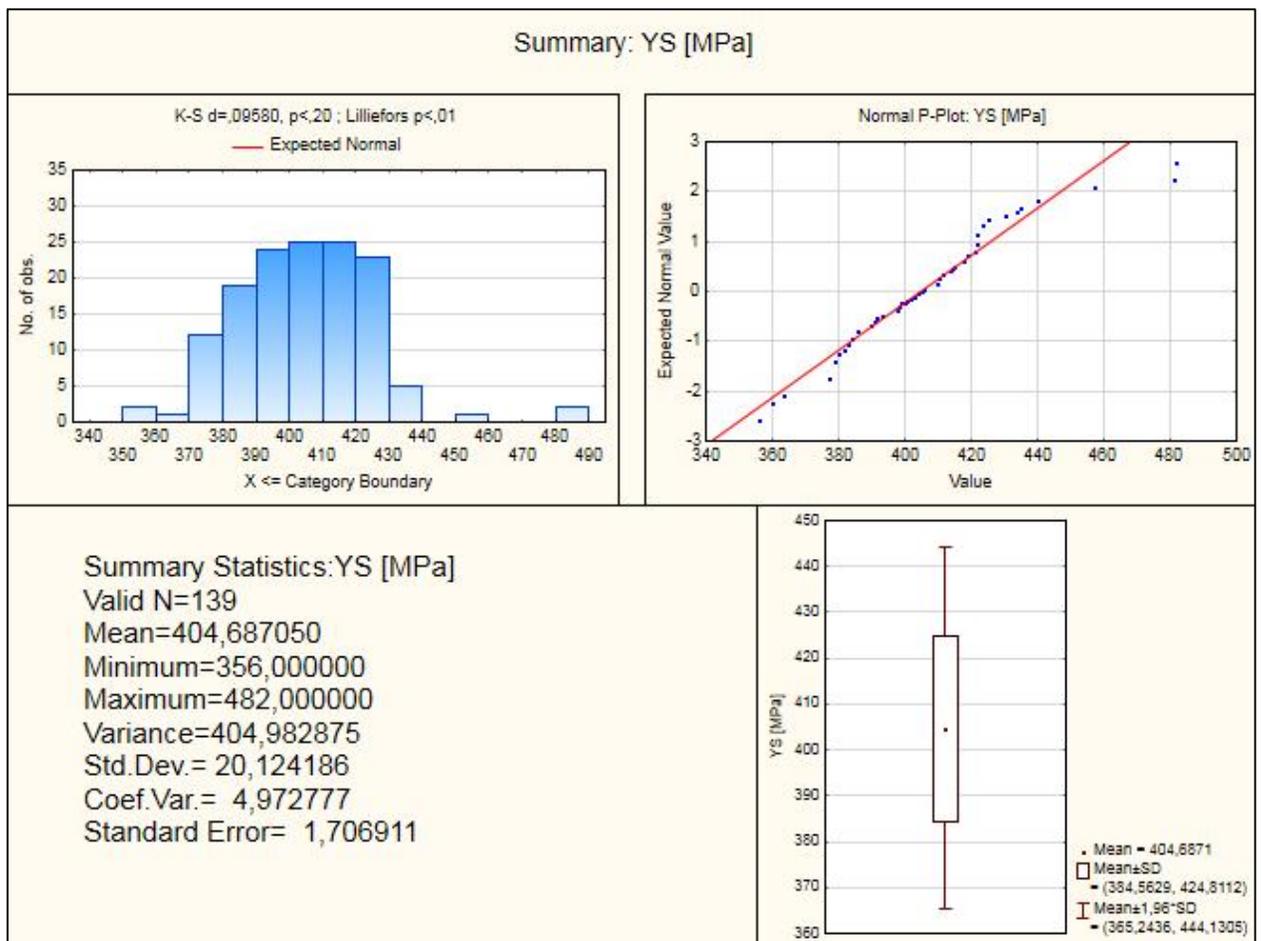


Gráfico N°68: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2008”

El histograma anterior clarifica lo que entrega la tabla N°27, puesto que se ve que los datos tienden a agruparse entre los 380 y 430 [MPa] de manera casi homogénea, es decir, con frecuencias similares entre dichos valores. El Normal P-Plot muestra una amplia dispersión de las observaciones comparados con una distribución normal conocida.

Con esto se obtiene la distribución de probabilidad para el caso de Fluencia.

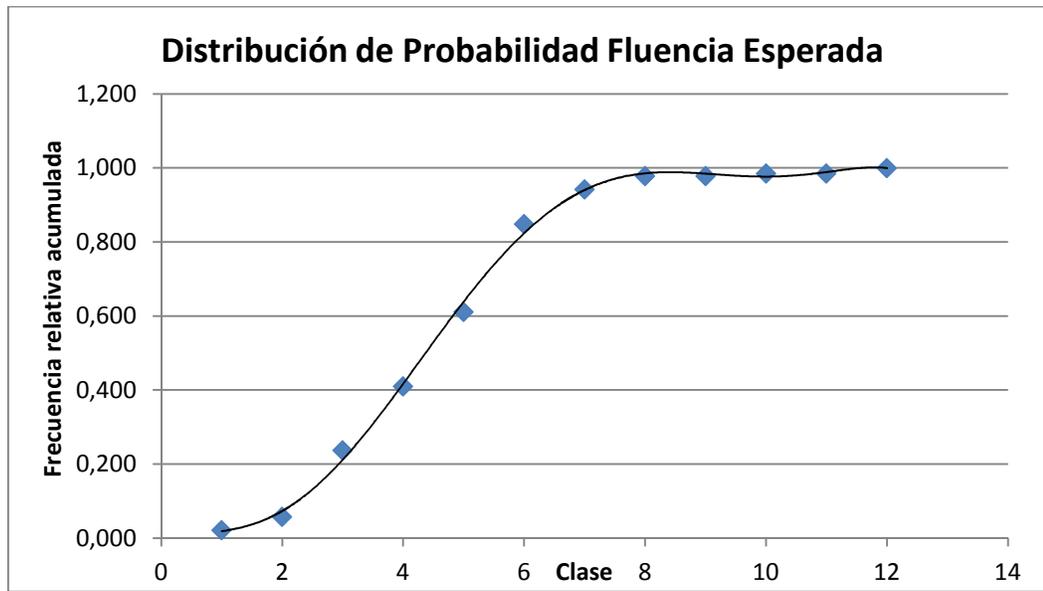


Gráfico N°69: “Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2008”

La distribución encontrada se ve que no es muy pulcra, ya que al pasar al intervalo N°7 ya están consideradas casi todas las observaciones.

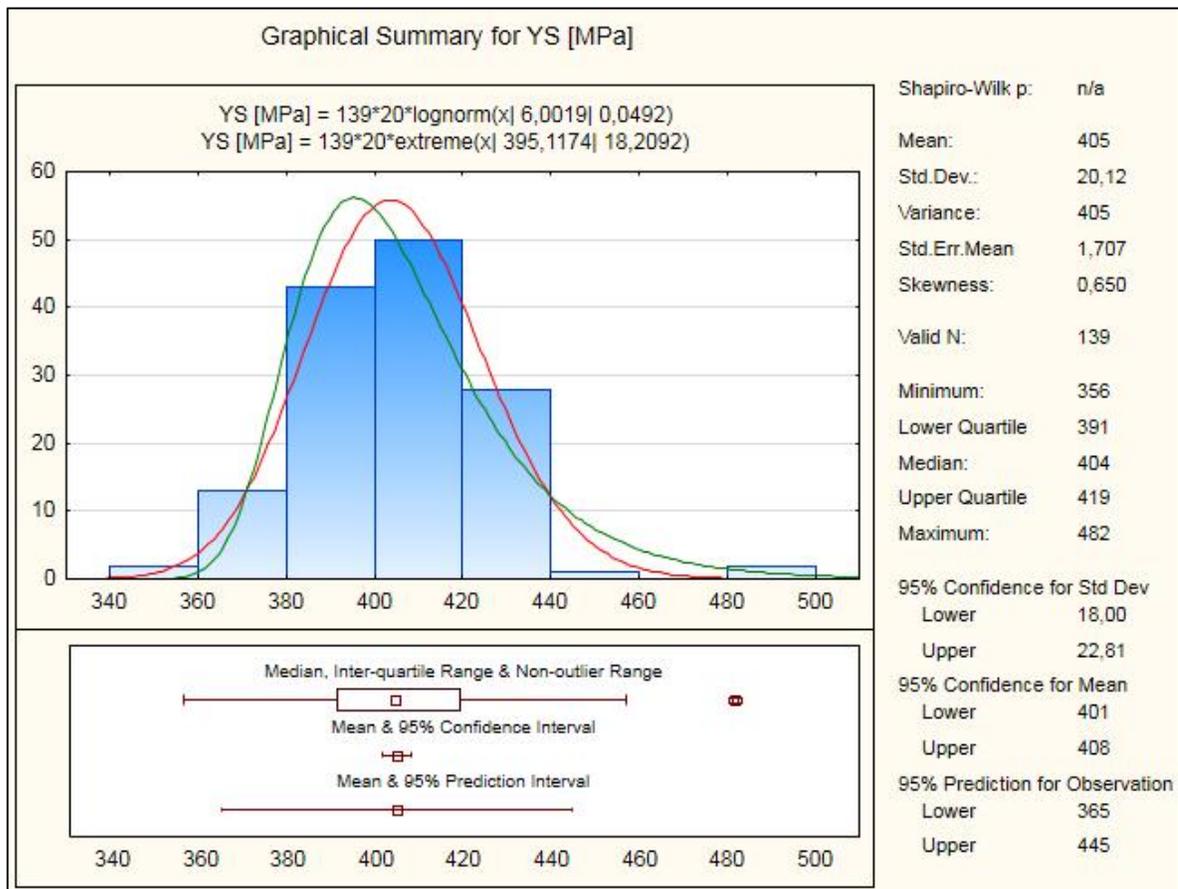


Gráfico N°70: “Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2008”

Se ve claramente que la distribución log-normal (rojo) se ajusta de mejor forma a las observaciones que la distribución extrema (verde). Ambas son las más similares a la distribución observada, pero se opta por la log-normal para la obtención de los coeficientes de fluencia esperada.

Entonces, se procede a continuar con el caso de Rotura.

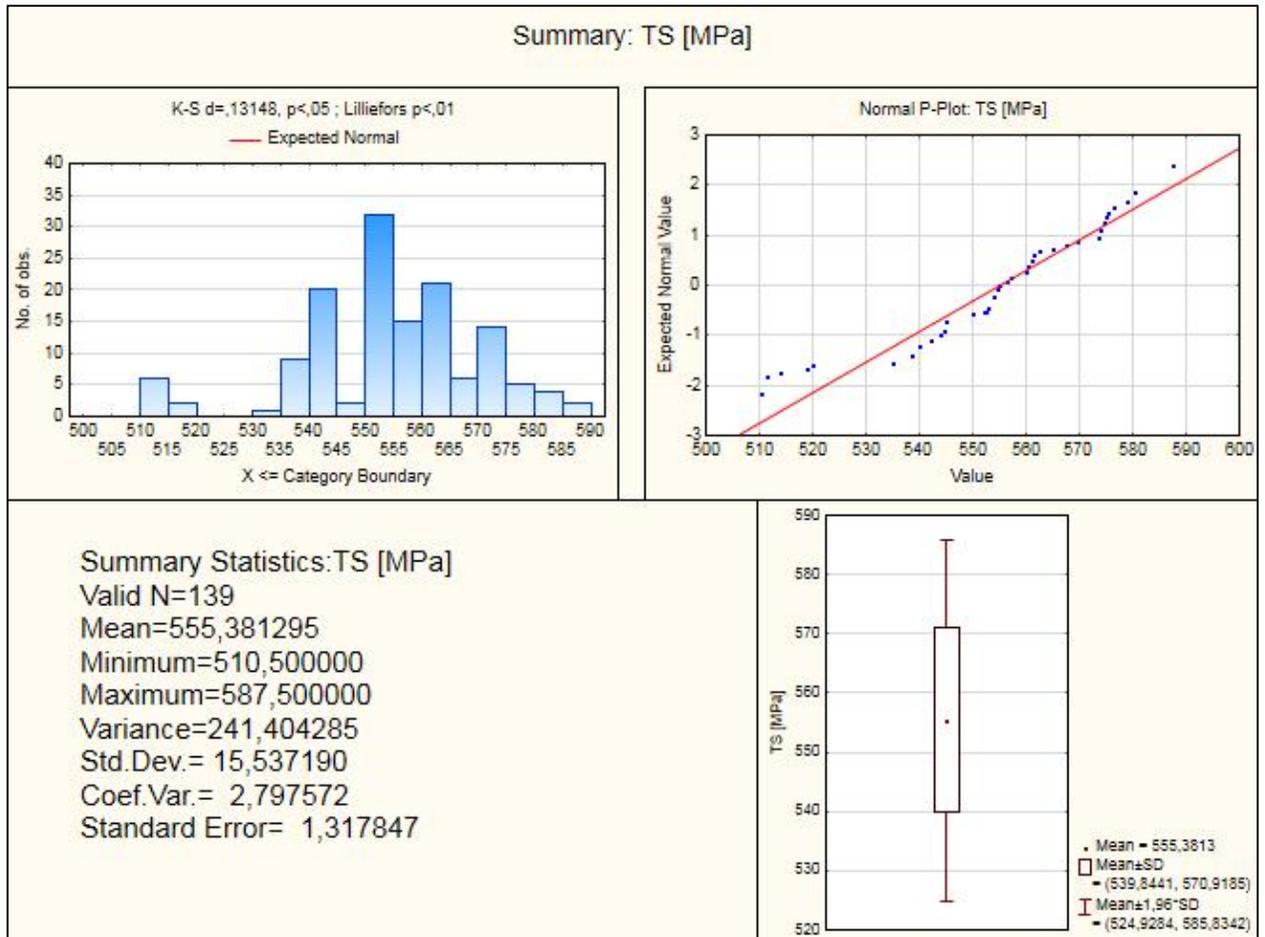


Gráfico N°71: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2008"

Se ve que la Tabla N°27 tiene relación con el histograma, porque se ve una tendencia de los datos a agruparse en torno al intervalo entre 550 y 555 [MPa], el cual es el intervalo modal. Sin embargo, la dispersión es bastante alta en este caso (se aprecia del histograma y del normal p-plot) y es complejo hacer un análisis de cuál podría ser la distribución de frecuencias a priori, por lo que se hace rigurosamente.

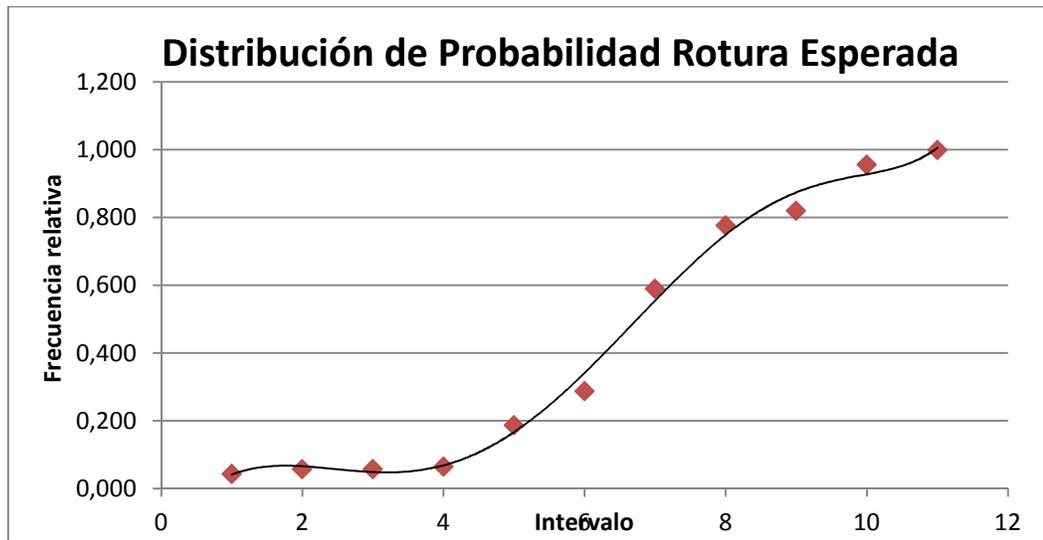


Gráfico N°72: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2008"

Se ve una distribución de probabilidad bastante irregular, donde la frecuencia relativa acumulada va en aumento únicamente desde el intervalo N°5 en adelante, que es lo que se puede ver también en el histograma del gráfico N°71.

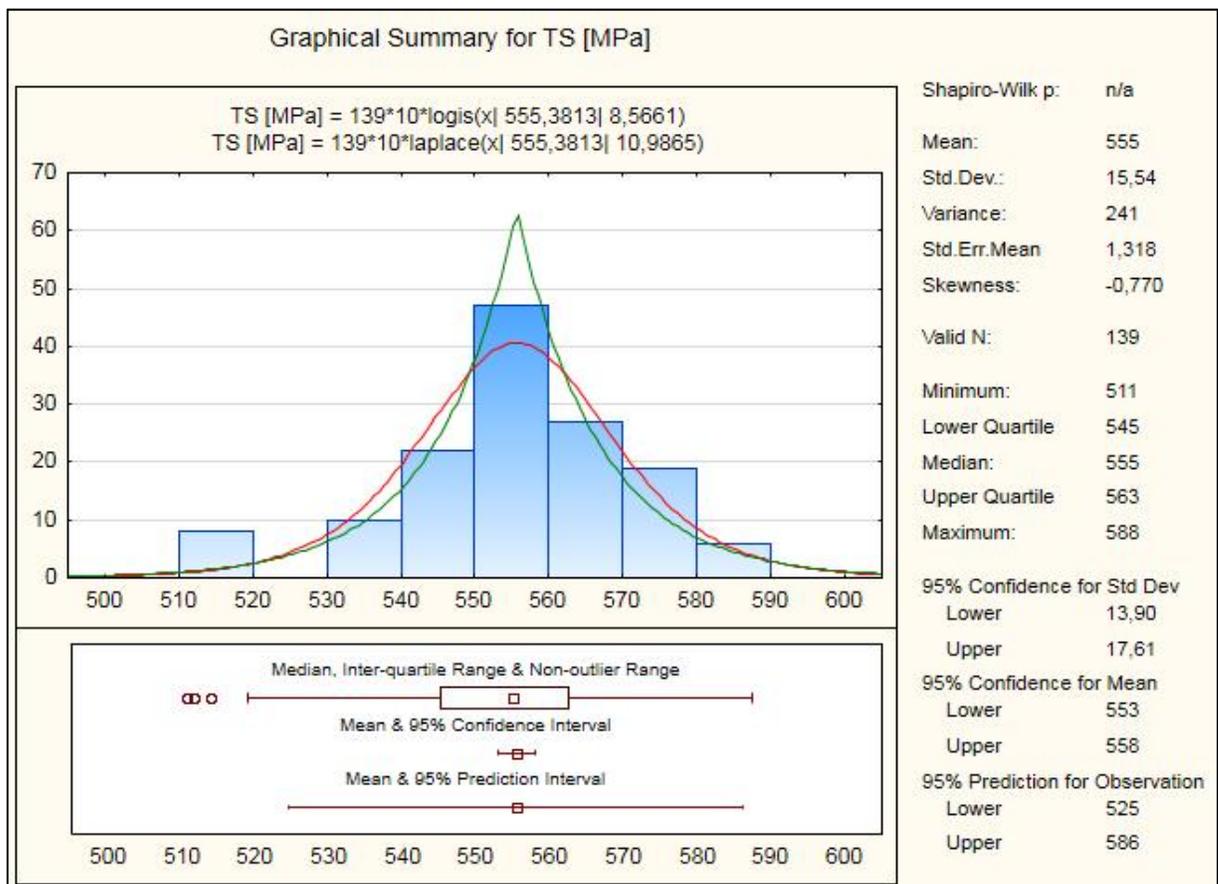


Gráfico N°73: "Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2008"

En este caso las distribuciones que más se asemejan a la distribución observada son la Logística (rojo) y la de Laplace (verde), siendo la primera la que se escoge para ser la distribución a partir de la cual se obtendrán los coeficientes de rotura esperada debido a que la de Laplace decrece muy rápido para valores inmediatamente mayores o menores que el valor de la media.

Así, se obtuvieron los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para el caso del acero calidad ASTM A572 Gr 50 importado durante el año 2008.

Tabla N°28: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A572 Gr 50, Año 2008”

AÑO 2008 ASTM A572 Gr 50	Ry	Rt
R Promedio	1,23	1,27
R Promedio Ponderado	1,23	1,27
R Percentil 84	1,22	1,27

3.3.3.4 Planchas de Acero ASTM A36 importadas en el año 2009

Durante el año 2009, al igual que durante el 2007 (Sección 3.3.3.2), se importaron planchas de acero de calidad ASTM A36 únicamente. De este modo, el análisis estadístico respectivo incluye sólo este caso.

Tabla N°29: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Año 2009”

AÑO 2009 ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	292,7	440,5
Promedio Ponderado	295,7	446,0
Mediana	289,5	441,3
Intervalo Modal	[278,285[(5)	[424,430[(5)
Desviación Estándar	15,95	17,72
Diferencia Mediana y Media	1,10%	0,18%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	2,11%	1,04%
Valor Percentil 84	309,0	455,1

Se aprecia de la Tabla N°29 que los valores de tendencia central están muy por sobre los intervalos modales, al punto que están aproximadamente una desviación estándar encima. Además, los valores de diferencia entre la Mediana y la Media o Media Ponderada son considerables también, puesto que pasan del 1% en general, a excepción de la Mediana y la Media en el caso de Rotura.

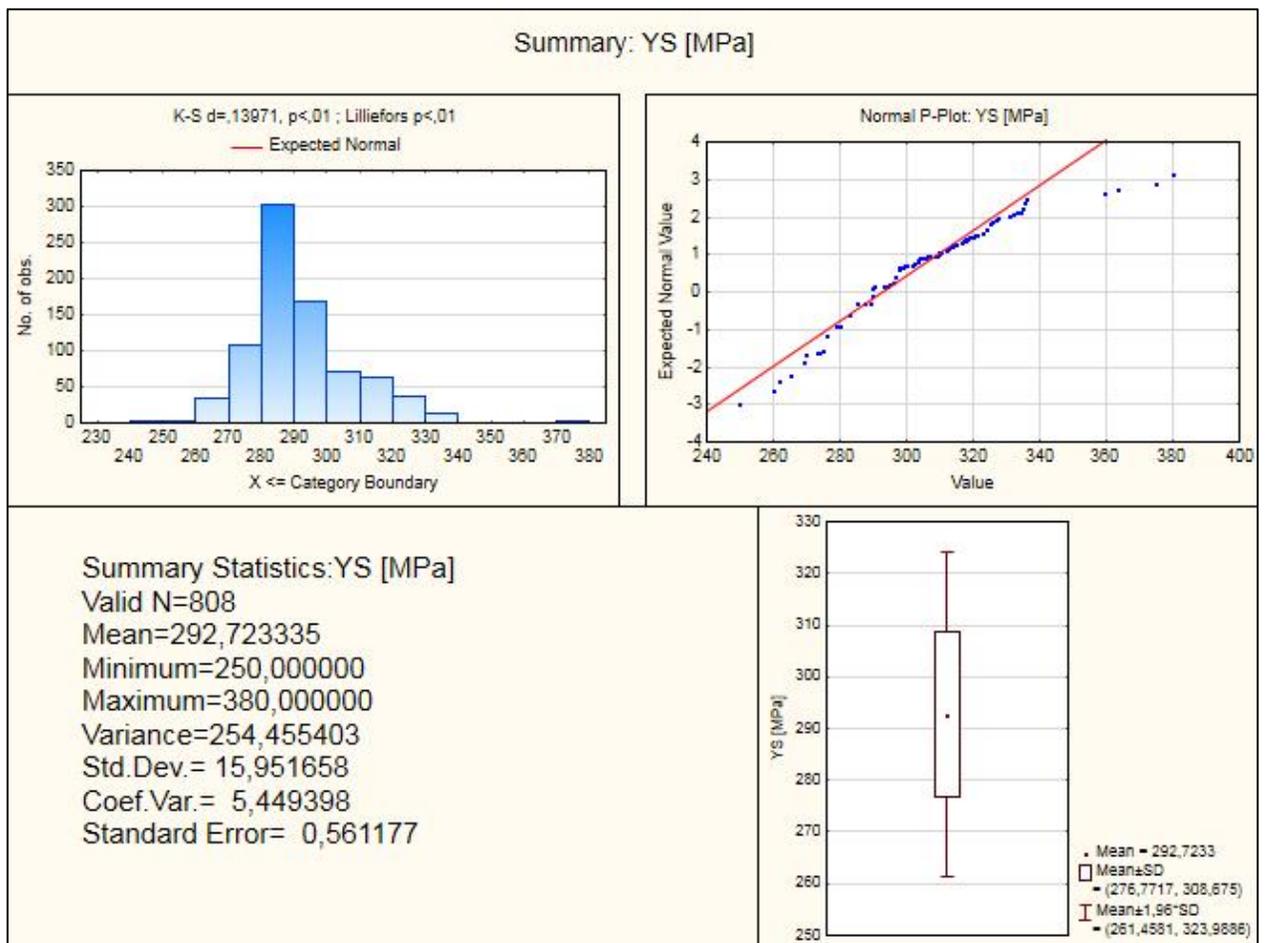


Gráfico N°74: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2009”

Se puede ver del Histograma una cierta tendencia a la normalidad. Sin embargo, el Normal P-Plot muestra que, de haber normalidad, sería del tipo logarítmica, puesto que las observaciones demarcan tendencia de esa forma.

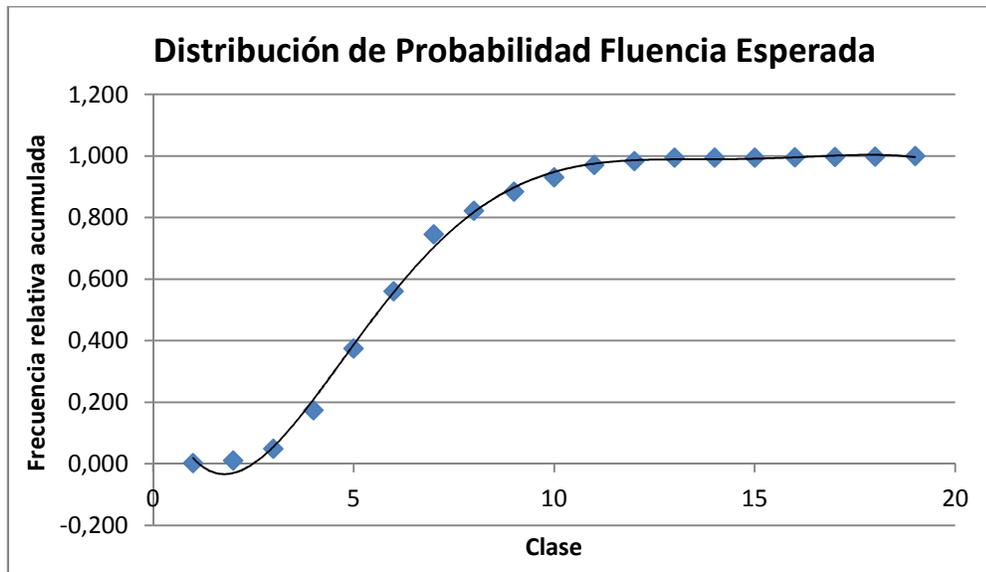


Gráfico N°75: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2009"

Se ve de la distribución que al llegar al intervalo N°11 ya se está cerca del valor de probabilidad 1, por lo que la distribución no es homogénea a medida que avanzan los intervalos.

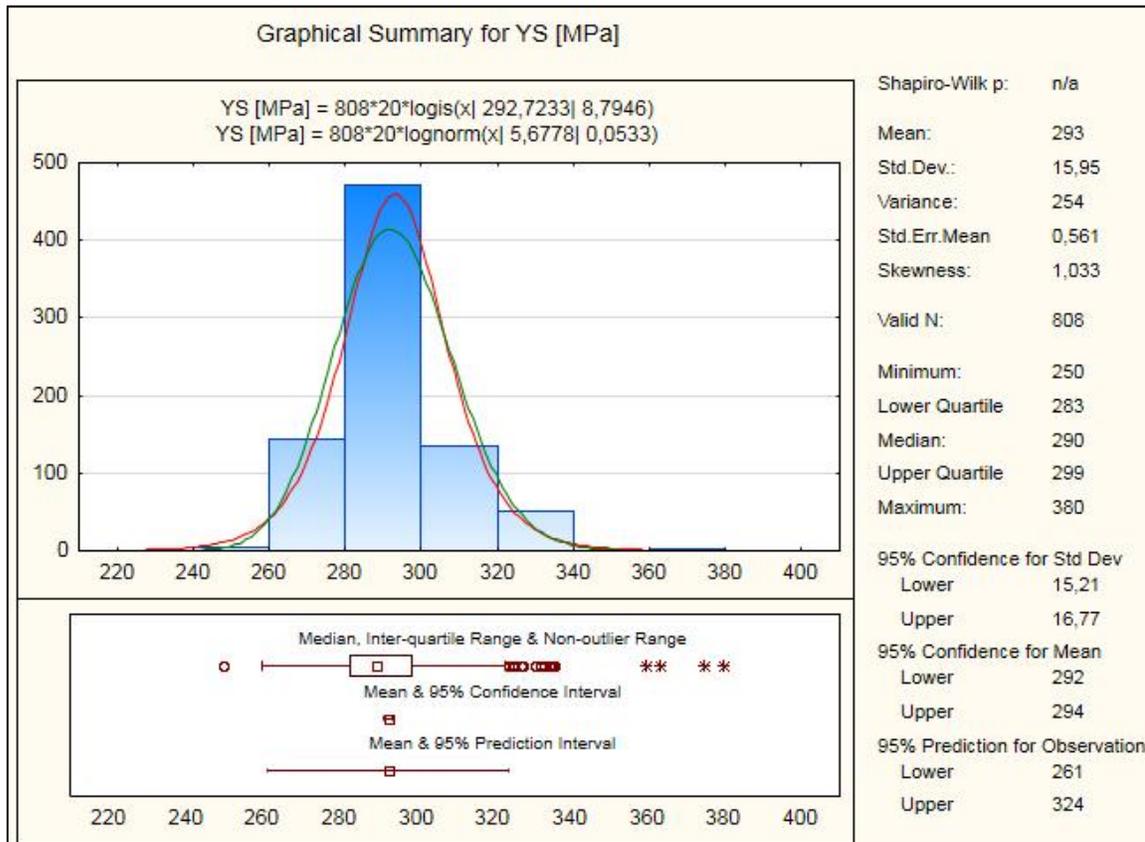


Gráfico N°76: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2009"

En este caso las distribuciones que más se asemejan a la distribución observada son la log-normal (verde) y la logística (rojo), siendo esta última la que tiene un ajuste un poco mejor, por lo que se prefiere para hacer el análisis correspondiente.

Ahora, se ven los resultados para el caso de rotura esperada.

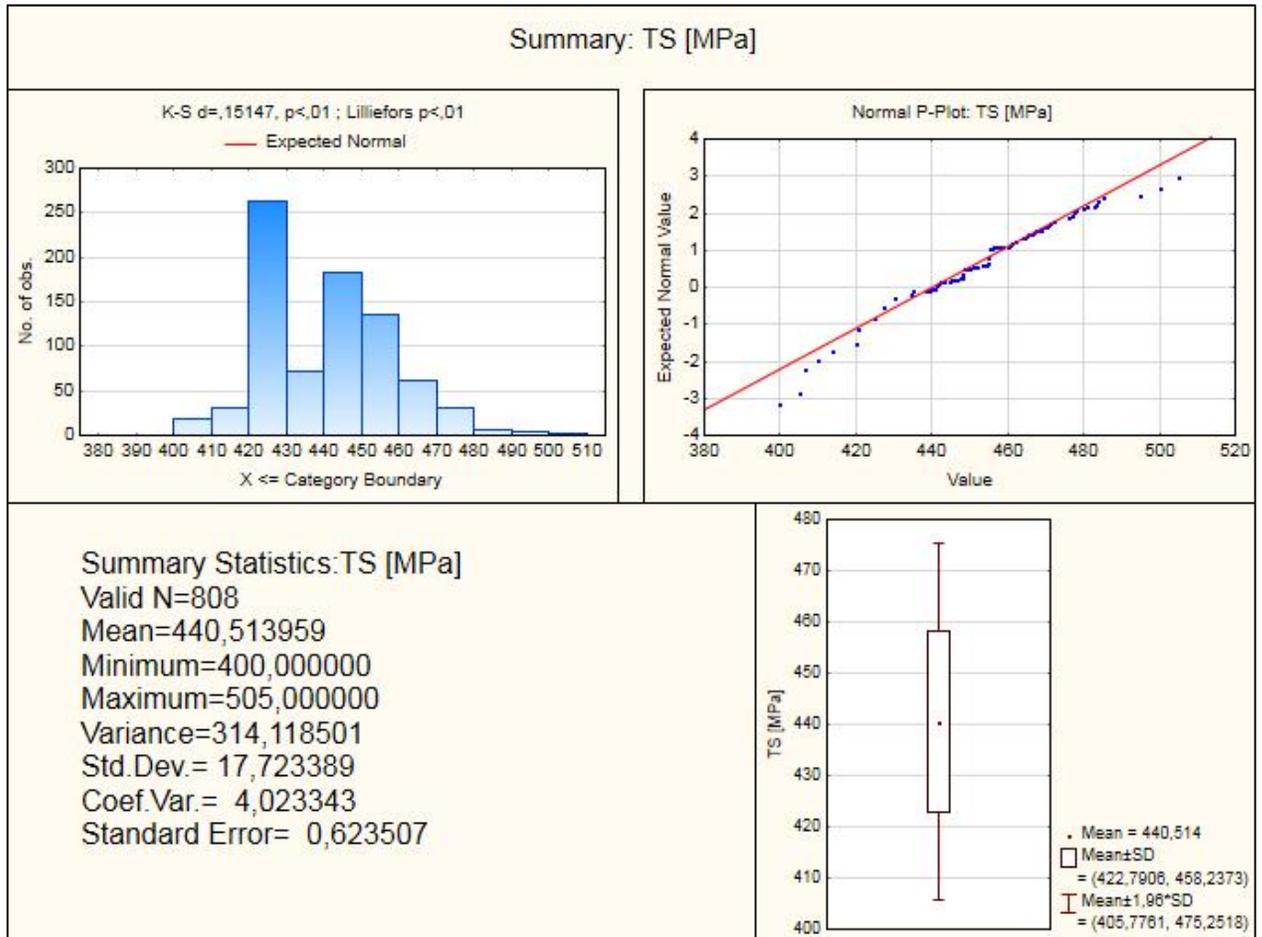


Gráfico N°77: “Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2009”

El histograma de rotura muestra que la distribución observada tiene dos peaks. El primer intervalo con mayor frecuencia es el comprendido entre los valores 420 y 430 [MPa]. Posteriormente tiene una fuerte caída para los valores entre 430 y 440, pero vuelve a subir entre 440 y 450 para ir decayendo suavemente. Ante ello, el Normal P-Plot explica que durante las primeras observaciones no se ve similitud entre los datos observados y una distribución normal, lo que cambia en el tramo siguiente.

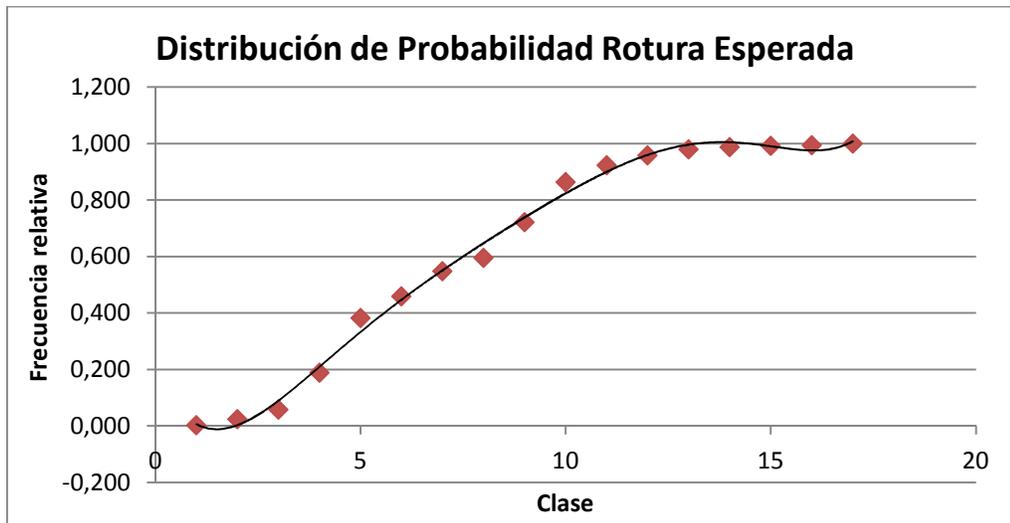


Gráfico N°78: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2009"

Este gráfico de distribución de probabilidad, indica que hay una mejor distribución que el caso de Fluencia en cuanto a homogeneidad. Sin embargo, su linealidad entre los intervalos N°3 y 12 hace dudar de la veracidad de los datos. La distribución de probabilidad se determina de manera análoga a los casos anteriores.

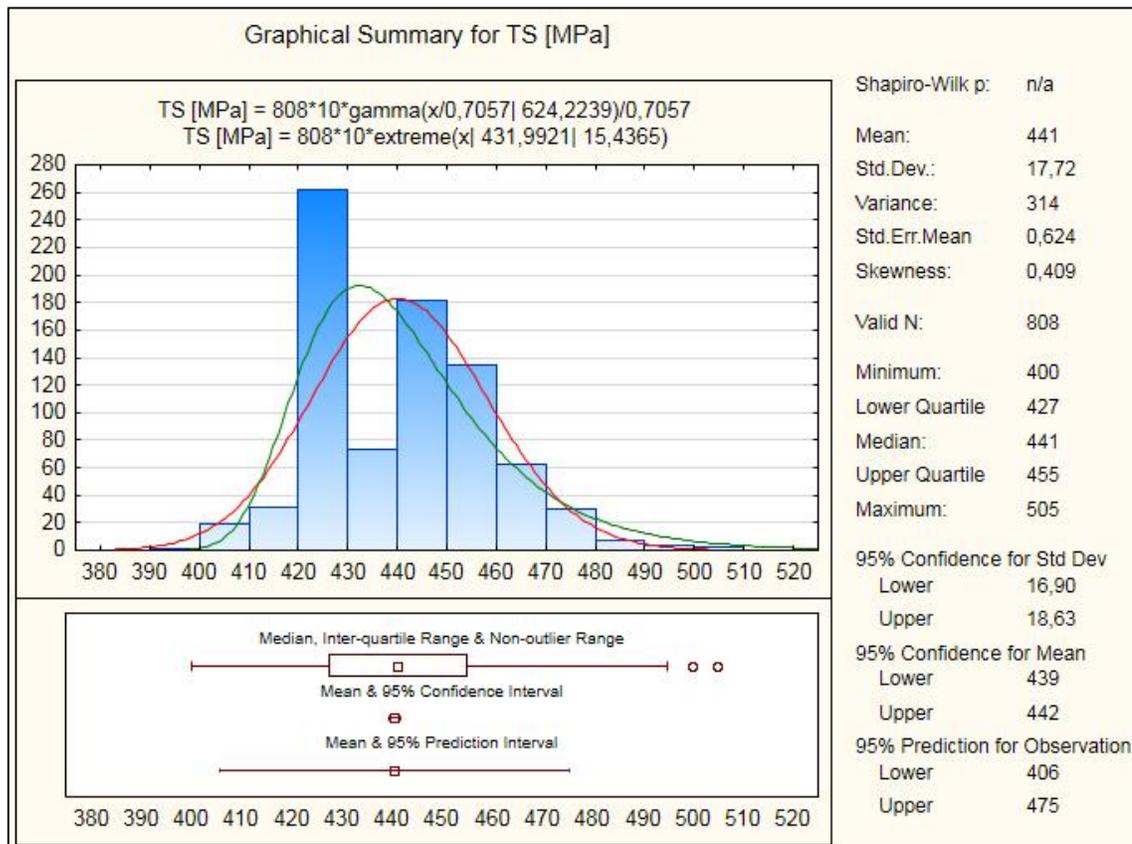


Gráfico N°76: "Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2009"

Se ve del gráfico n°76 que las distribuciones que mejor se ajustan a la distribución observada no tienen mucha relación con la misma, puesto que la media se aleja bastante de lo que las distribuciones teóricas entregan, por lo que se prefiere en este caso tomar los coeficientes de rotura esperada directamente de los datos.

Así, se obtuvieron los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para el acero calidad ASTM A36 importado durante el año 2009.

Tabla N°30: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Año 2009”

AÑO 2009 ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,23	1,12
R Promedio Ponderado	1,25	1,13
R Percentil 84	1,24	1,11

3.3.3.5 Planchas de Acero importadas en el año 2010

Durante el año 2010 se importaron planchas de acero de calidades ASTM A36 y ASTM A572 Gr 50, por lo que el análisis para este año estará enfocado en ambas calidades.

3.3.3.5.1 ASTM A36, 2010

En este año casi 9300 toneladas de acero se importaron desde varias latitudes. Alto valor, considerando que en general las maestranzas nacionales no estaban preparadas aún para fabricar tantas toneladas de estructuras de acero.

Tabla N°31: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Año 2010”

AÑO 2010 ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	315,7	485,3
Promedio Ponderado	318,6	481,6
Mediana	315,0	490,0
Intervalo Modal	[299,306[(8)	[490,496[(16)
Desviación Estándar	16,55	13,84
Diferencia Mediana y Media	0,24%	0,98%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	1,12%	1,74%
Valor Percentil 84	315,0	490,0

Se ve de la tabla que los valores de las medidas de tendencia central están fuera de los límites de los intervalos modales, pero de modo disímil. Para el caso de Fluencia se ve que las la Media, Media Ponderada y Mediana están por sobre el límite superior del intervalo modal. Al contrario, para Rotura se ve que los valores mencionados están bajo el límite inferior del intervalo modal.

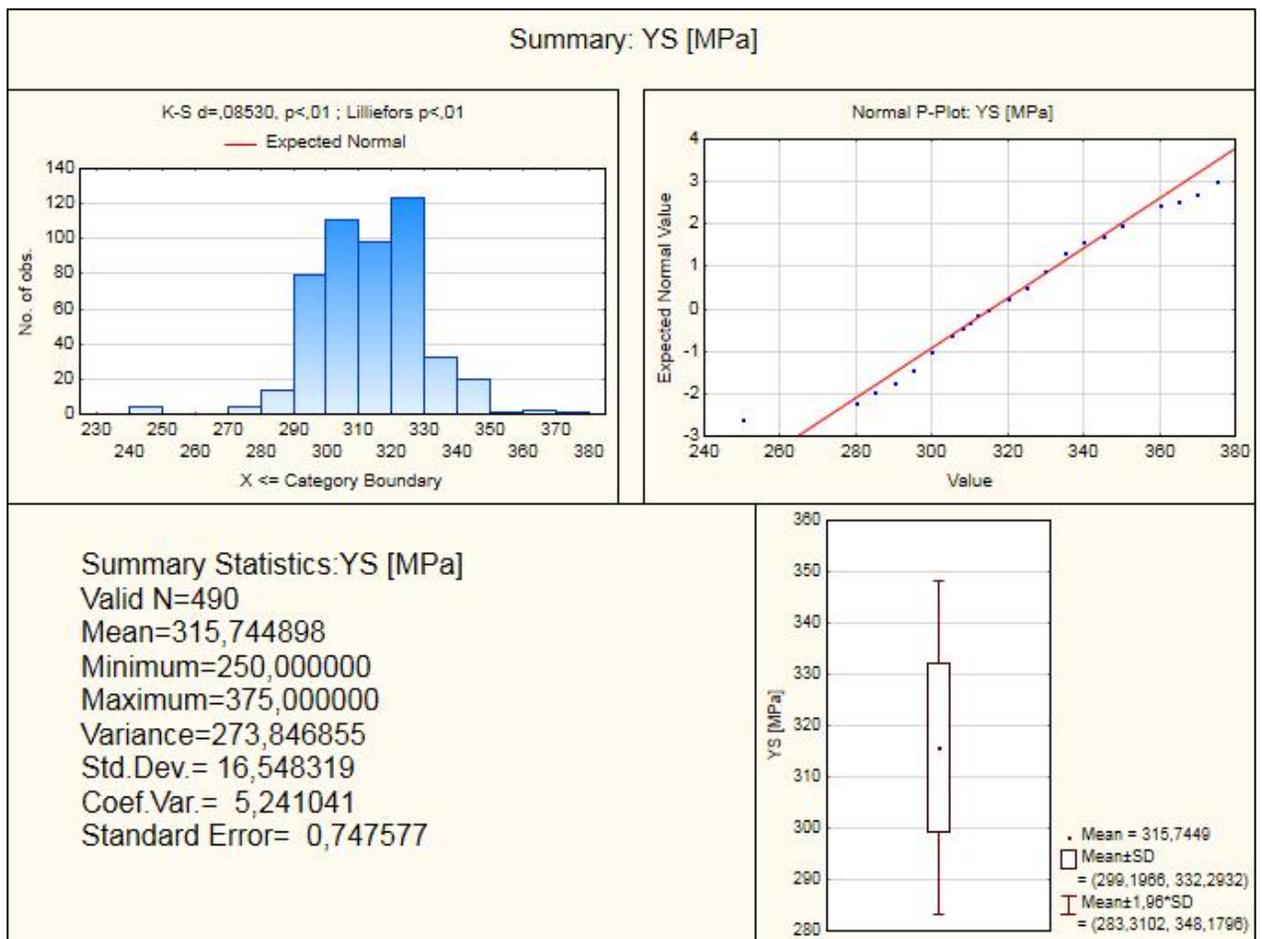


Gráfico N°77: "Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, 2010"

Del histograma se puede ver que los datos tienden a agruparse entre los 290 y 330 [MPa] y en torno a esos valores las frecuencias disminuyen drásticamente- El Normal P-Plot muestra cierta regularidad de la muestra al momento de distribuir normalmente.

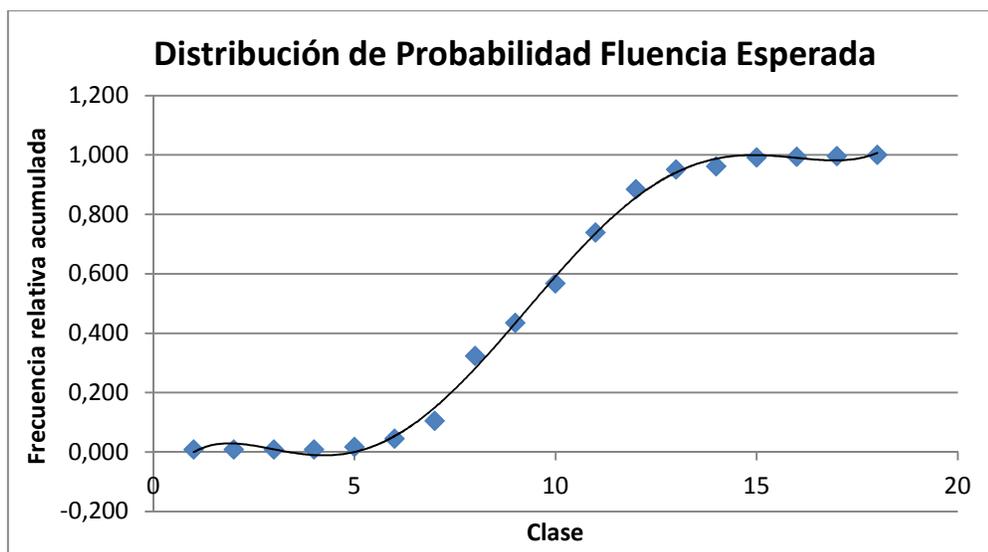


Gráfico N°78: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, 2010"

El Gráfico N°84 no muestra una homogeneidad en la distribución de datos, pues el grueso de ellos se concentra en los intervalos N°7 al 13, ya que antes de ellos la probabilidad de encontrar datos es casi cero y posteriormente es aproximadamente 1.

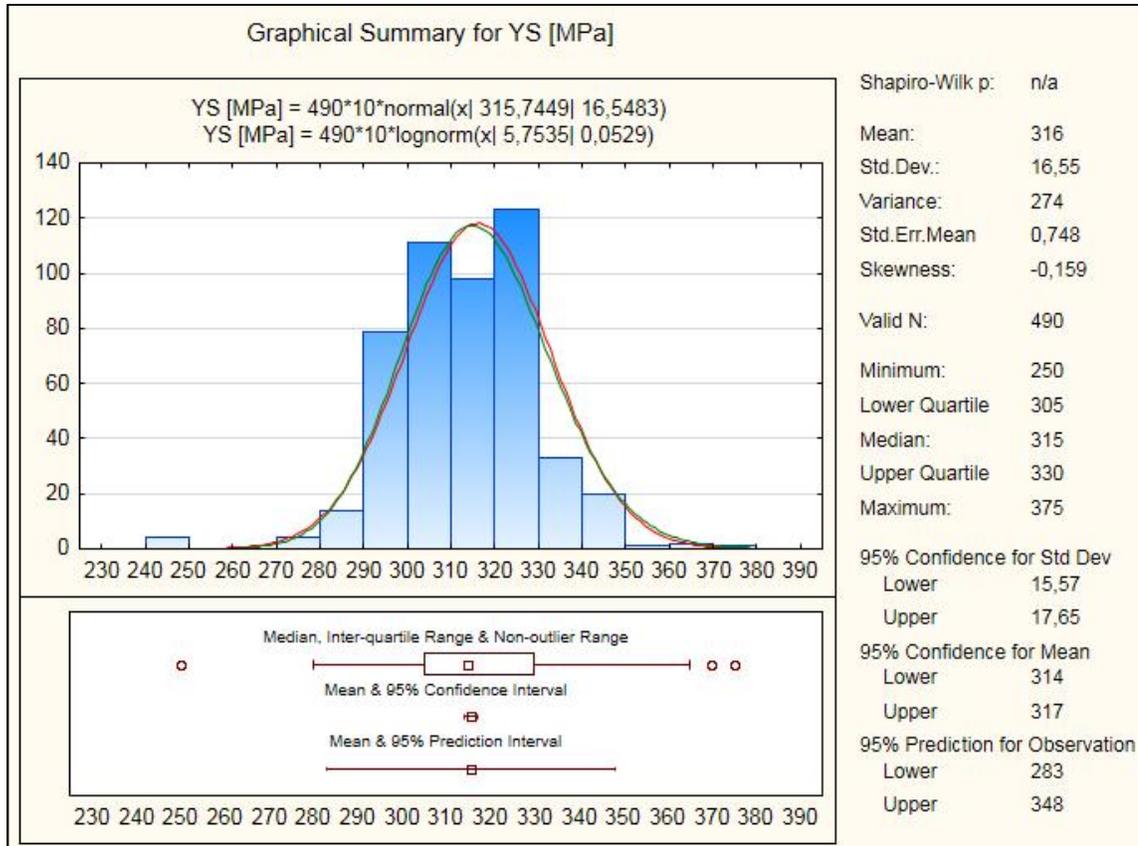


Gráfico N°79: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2010"

El gráfico n°79 muestra que las dos distribuciones que mejor se ajustan a la distribución observada son la Normal (rojo) y la log-normal (verde). Por esto, se ocupa la distribución normal directamente, por lo que los datos serán los que representen fielmente los coeficientes de fluencia esperada para este caso.

Se procede a mostrar los resultados para el caso de rotura esperada.

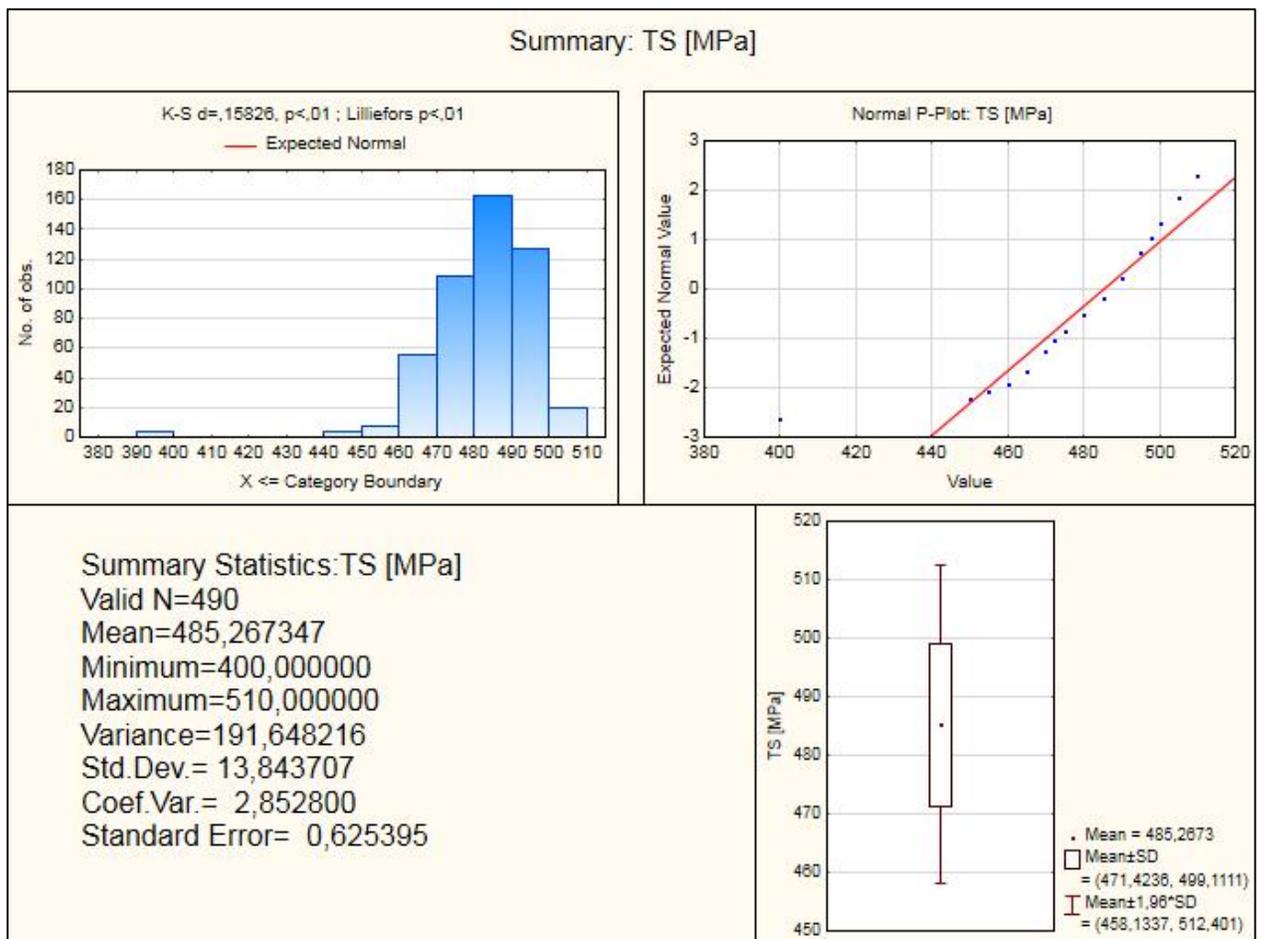


Gráfico N°80: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2010"

El histograma de rotura muestra una distribución observada bastante irregular, puesto que el grueso de los datos está en los últimos intervalos. Además, el normal p-plot denota una alta dispersión en los datos con respecto a la distribución normal.

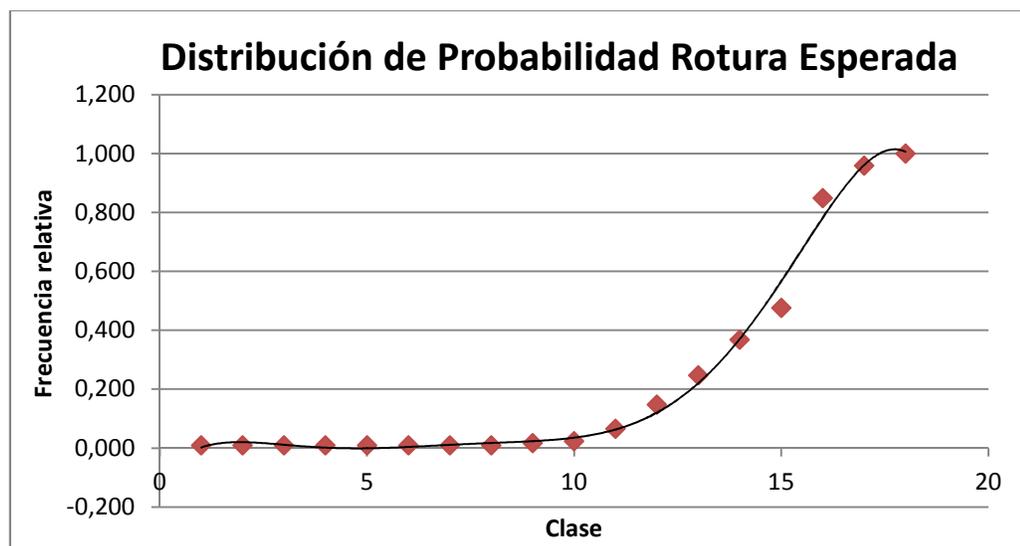


Gráfico N°81: “Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2010”

Tal como se dijo anteriormente el grueso de los datos se concentra en el intervalo modal y los previos a este, por lo que la ojiva representa fielmente esa situación.

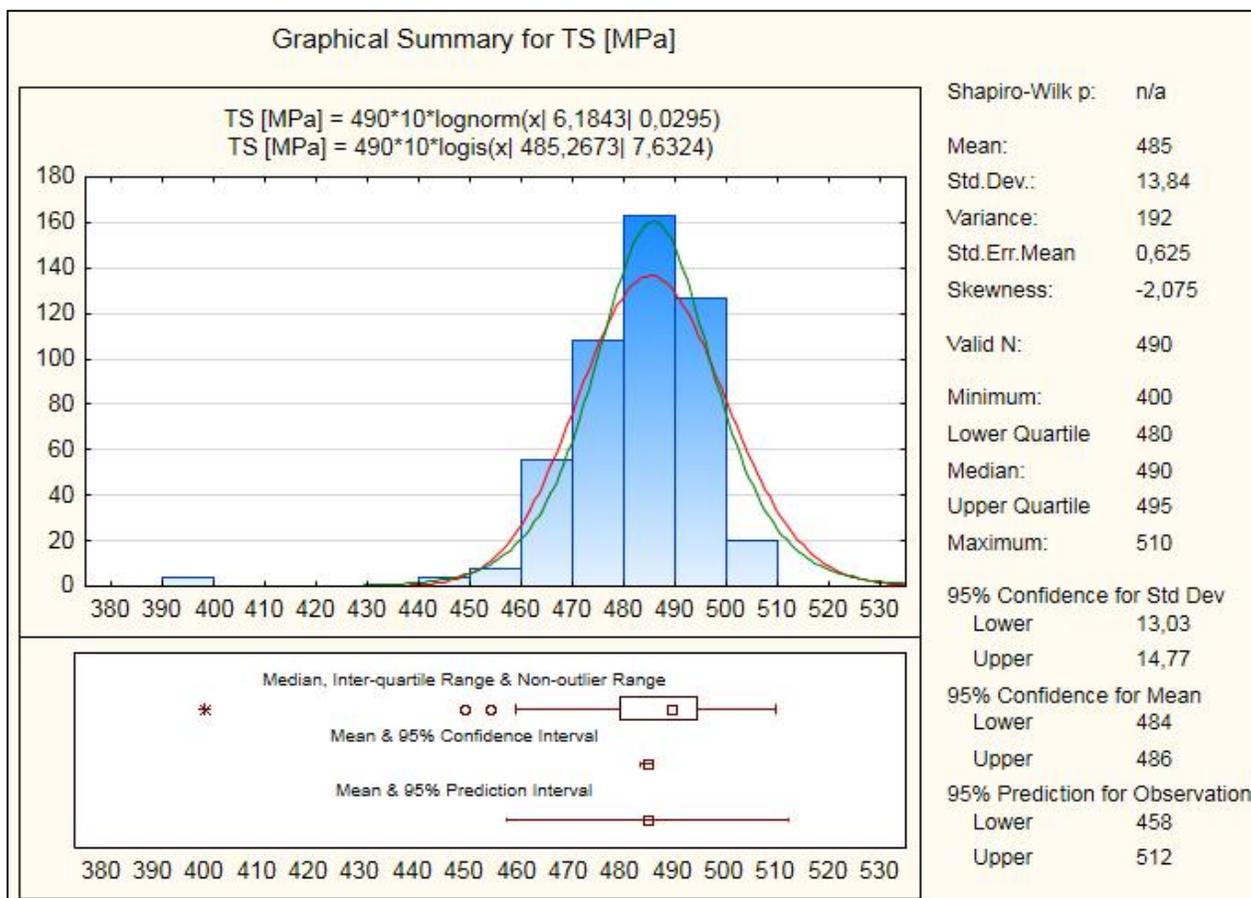


Gráfico N°82: “Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2010”

Las curvas teóricas de distribución que se asemejan a la distribución observada son la Logística (verde) y la log-normal (rojo), siendo la primera la que mejor representa los datos observados. Sin embargo, este análisis tiene la salvedad que el software descartó los datos que se tienen en el intervalo entre 390 y 400 [MPa] por no ser representativos.

Así, se obtuvo los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para las planchas de acero calidad ASTM A36 importadas durante el 2010.

Tabla N°32: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Año 2010”

AÑO 2010 ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,33	1,22
R Promedio Ponderado	1,34	1,21
R Percentil 84	1,32	1,21

3.3.3.5.2 ASTM A572 Gr 50, 2010

Durante 2010 se importaron casi 3000 toneladas de planchas de acero ASTM A572 Gr 50 provenientes de distintas fuentes. Con ellas, se hizo el análisis estadístico típico.

Tabla N°33: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2010”

AÑO 2010 ASTM A572 Gr 50	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	345,0	450,0
Media	422,7	571,5
Promedio Ponderado	423,8	570,6
Mediana	425,0	575,0
Intervalo Modal	[420,431[(11)	[572,578[(8)
Desviación Estándar	19,60	19,52
Diferencia Mediana y Media	0,53%	0,61%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	0,27%	0,77%
Valor Percentil 84	440,0	595,0

Se ve de la tabla que, para el caso de Fluencia, los valores de tendencia central caen dentro del intervalo modal, por lo que a priori debiera haber normalidad en su distribución. Al contrario, en el caso de Rotura los valores de Media y Promedio Ponderado están por debajo del límite inferior del intervalo modal, mientras que la Mediana está incluida en el intervalo.

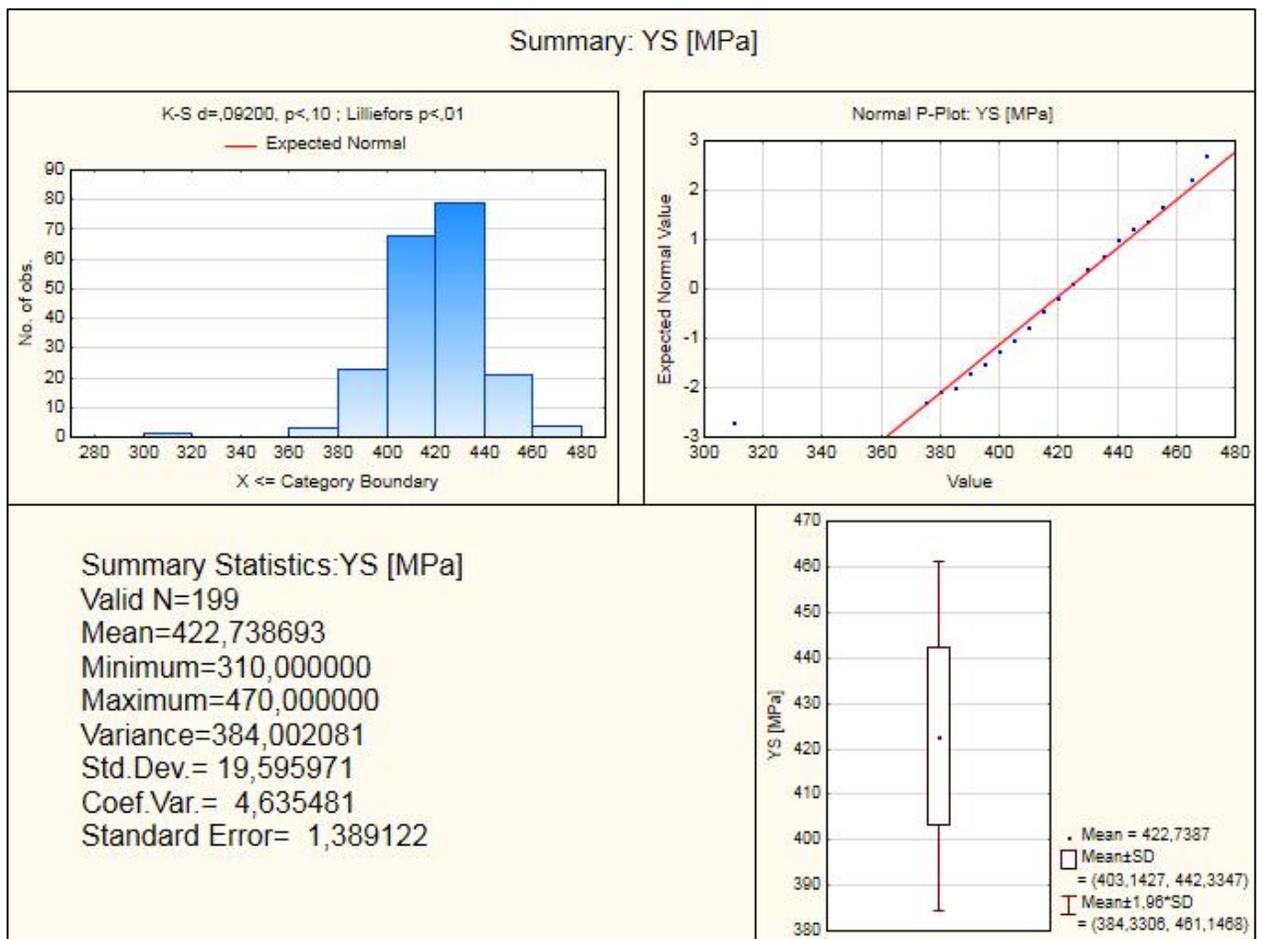


Gráfico N°83: "Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2010"

Se aprecia directamente del histograma que los valores tienden a agruparse en torno al intervalo modal, por lo que se corrobora la hipótesis de la tabla. Además, el normal p-plot muestra una similitud notable entre los datos observados y la normalidad esperada. Por último, el gráfico de caja muestra con 95% de confianza que la media estará en el rango determinado.

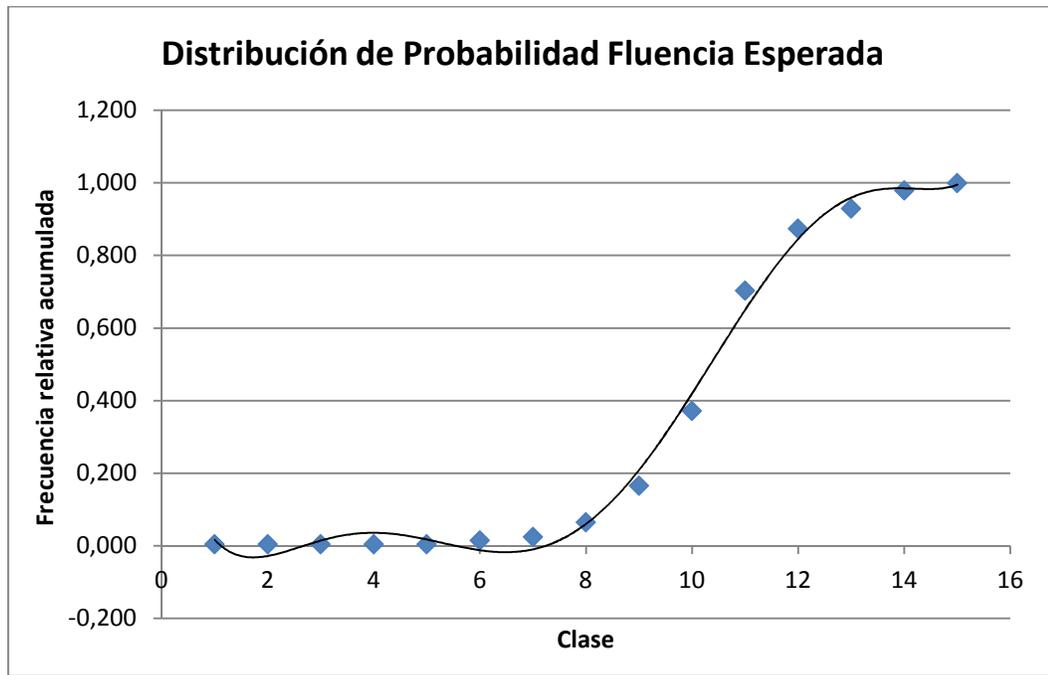


Gráfico N°84: “Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2010”

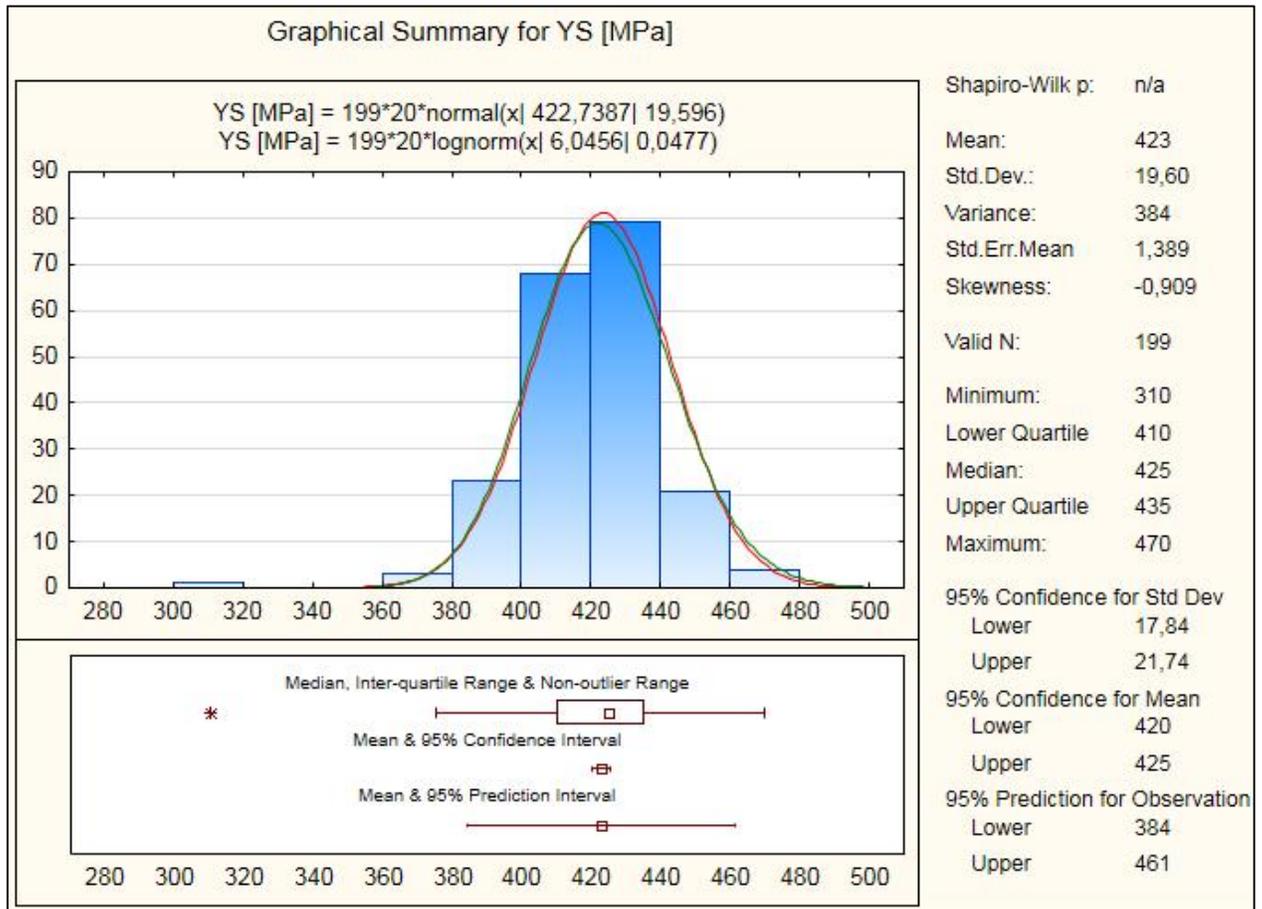


Gráfico N°85: “Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2010”

Del gráfico n°84 se puede ver una irregularidad en la ojiva de frecuencias acumuladas debido a que hay valores muy alejados de donde se encuentran las mayores frecuencias. Consecuentemente, en el gráfico n°85 se ve que el software desestimó esos valores y dice que la distribución teórica que explica este caso está determinada por una normal (rojo) o una log-normal (verde).

Así, se debe seguir el análisis para el caso de Rotura esperada.

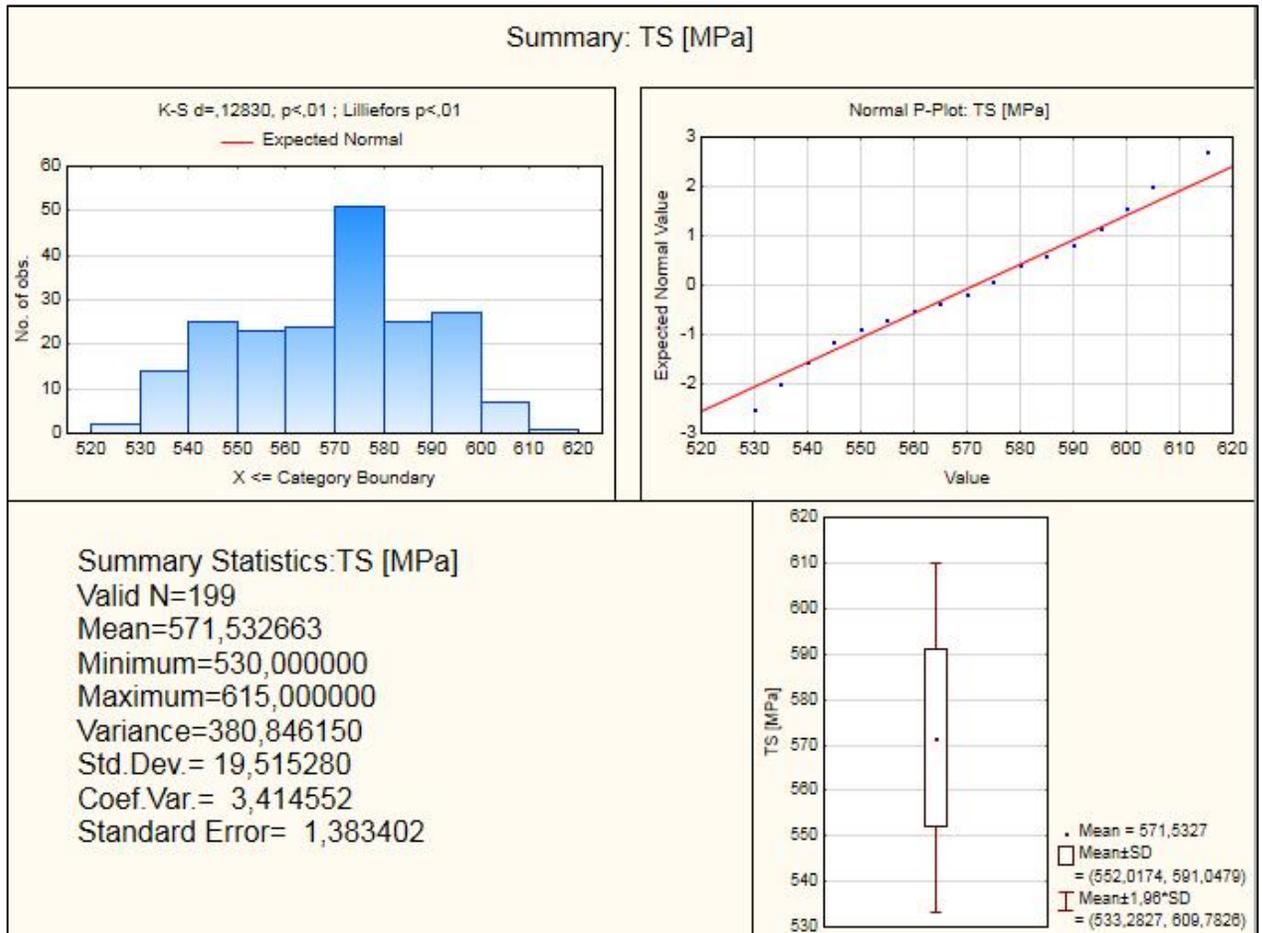


Gráfico N°86: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2010"

Se ve del histograma que hay demasiada irregularidad en los datos observados debido a que, a pesar de haber un intervalo modal demarcado, hay muchos intervalos que tienen frecuencias similares. Por otra parte, el normal p-plot indica una tendencia de los datos a asimilarse a una distribución normal, pero con cierto grado de inexactitud.

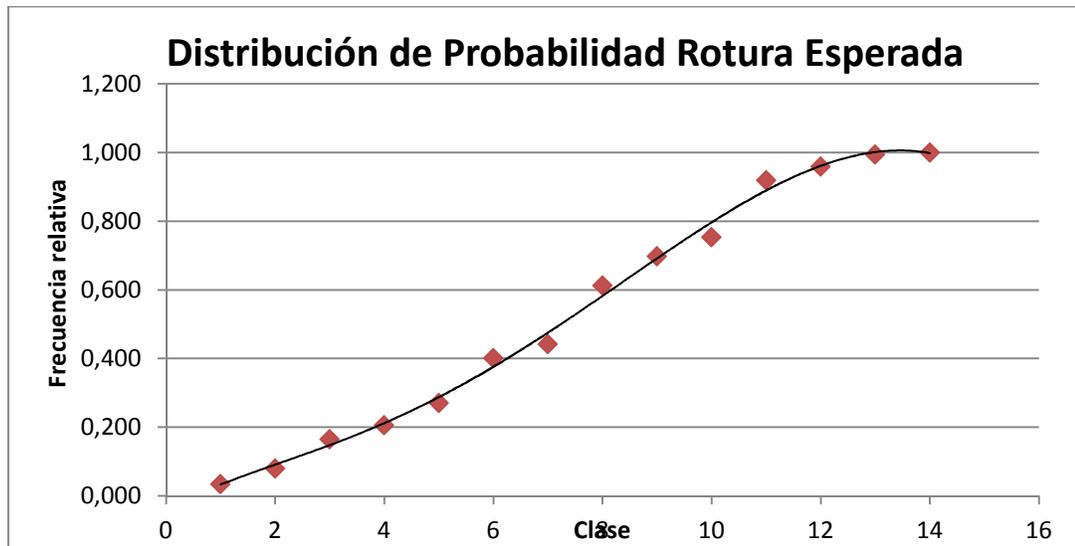


Gráfico N°87: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2010"

En este caso la Ojiva muestra una distribución de los datos casi lineal, lo que se condice con que el histograma tenga frecuencias similares. Una ojiva regular debe tener forma de S y no de línea como se ve en este caso, lo que corrobora lo dispersos que están los datos en el muestreo.

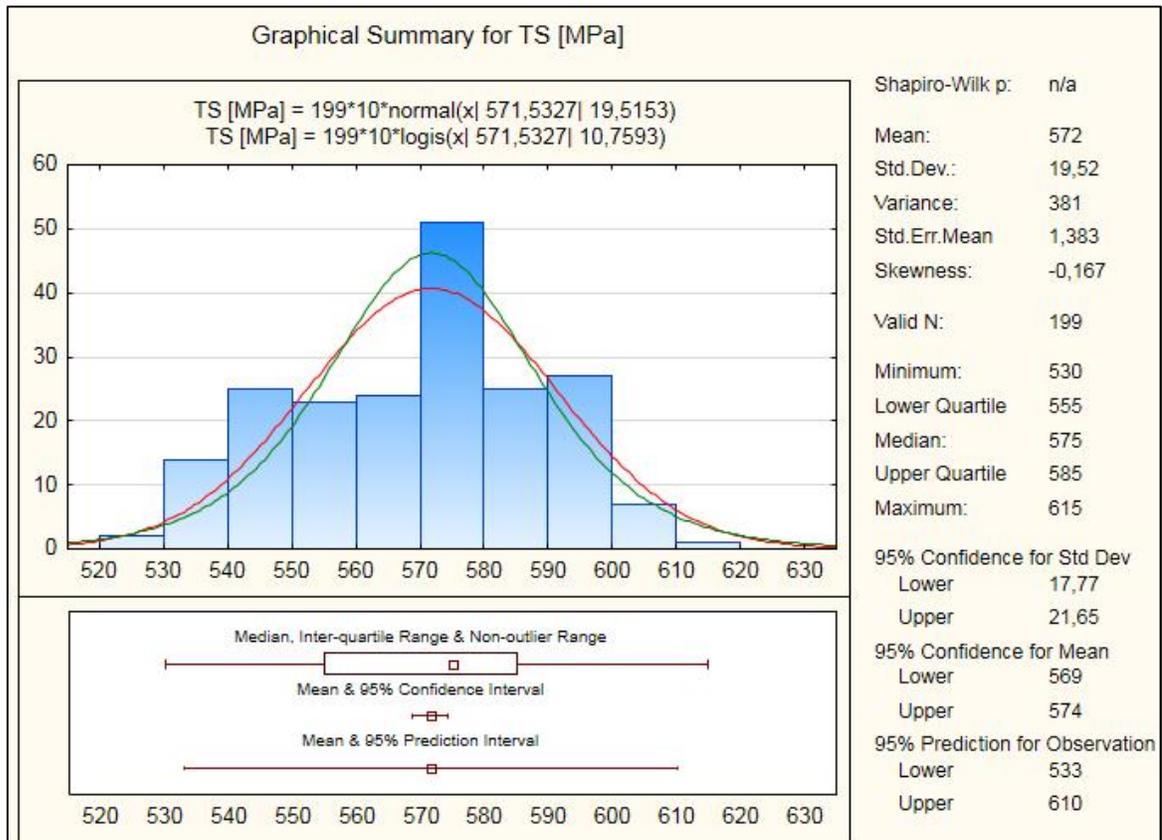


Gráfico N°88: "Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A572 Gr 50, Año 2010"

Del gráfico n°88 se ve que las observaciones están lejos de ser una distribución normal (rojo) o una logística (verde) porque la mayoría de los intervalos tiene frecuencias similares, salvo el intervalo comprendido entre los 570 y 580 [MPa] que corresponde al intervalo modal. De esta manera, no se escoge ninguna distribución para este caso y los coeficientes de rotura esperados se obtienen directamente de los datos.

Así, se muestran los resultados obtenidos para los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para planchas de acero calidad ASTM A572 Gr 50 importadas durante el año 2010.

Tabla N°34: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A572 Gr 50, Año 2010”

AÑO 2010 ASTM A572 Gr 50	Ry	Rt
R Promedio	1,28	1,31
R Promedio Ponderado	1,29	1,31
R Percentil 84	1,28	1,32

3.3.3.6 Planchas de Acero ASTM A36 importadas en el año 2011

Como se dijo en las generalidades, durante el 2011 se importaron principalmente planchas de acero ASTM A36, lo que no quita que haya habido casos puntuales en que se solicitaron planchas de acero ASTM A572 Gr 50, los cuales no alcanzan para hacer un análisis estadístico adecuado. Así, el presente punto analiza únicamente el caso del ASTM A36.

Tabla N°35: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Año 2011”

AÑO 2011 ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250	410
Media	333,7	475,7
Promedio Ponderado	318,6	459,4
Mediana	335,0	480,0
Intervalo Modal	[344,351[(13)	[470,476[(11)
Desviación Estándar	21,11	19,94
Diferencia Mediana y Media	0,39%	0,91%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	4,90%	4,30%
Valor Percentil 84	355,0	495,0

Al obtener los resultados, se ve que el Promedio Ponderado está muy por debajo de las otras medidas de tendencia central, obteniéndose la diferencia porcentual entre la Mediana y el Promedio Ponderado más elevada a lo largo del estudio. Considerando únicamente la Media, se ve que para el caso de Fluencia están por debajo del límite

inferior del intervalo modal y que para el caso de Rotura la Media está dentro del intervalo modal, pero la mediana está sobre ella.

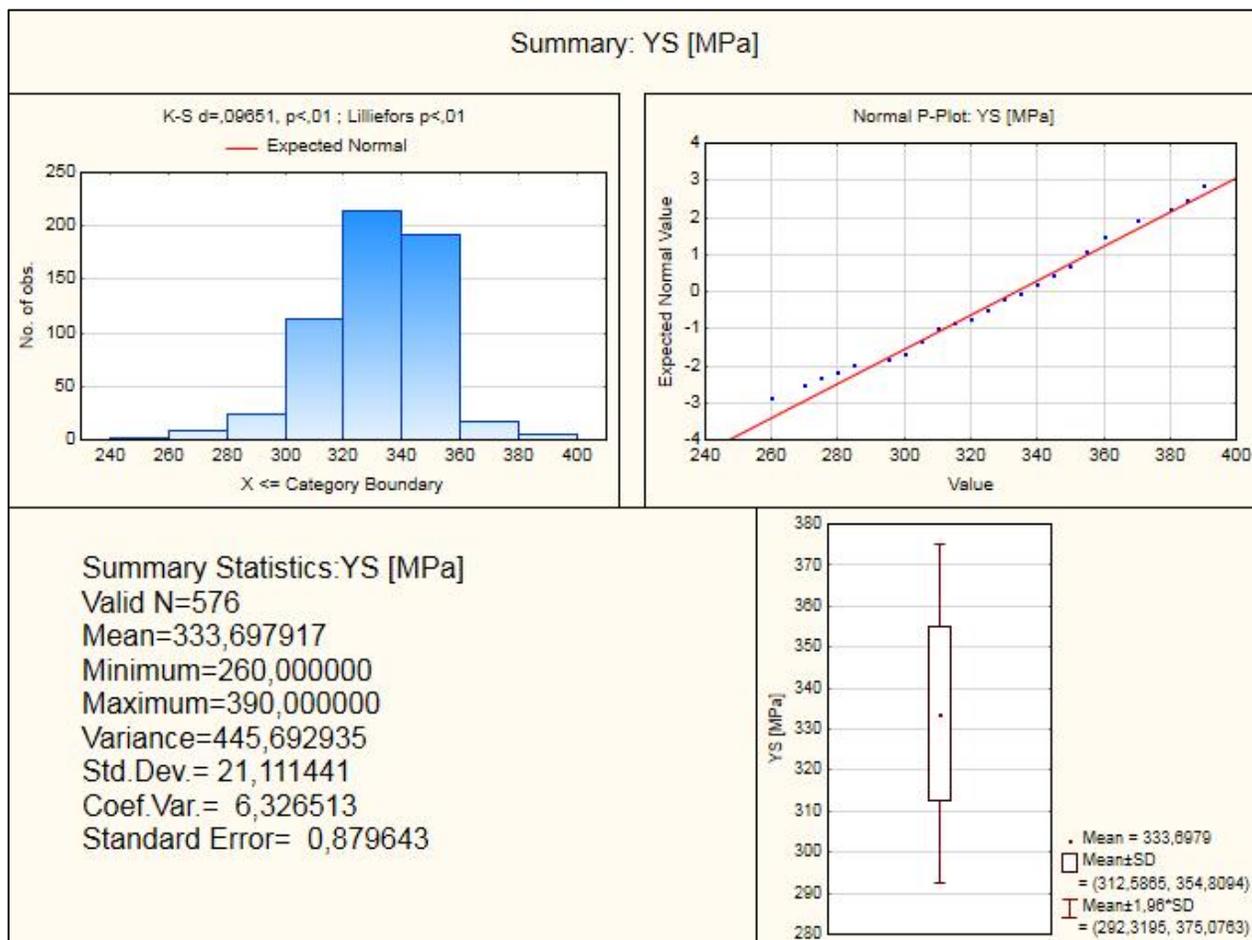


Gráfico N°89: "Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2011"

En el gráfico n°89 se ve una similitud del histograma con una distribución del tipo Normal. Además, el Normal P-Plot muestra una tendencia clara de los valores a distribuir de esa manera.

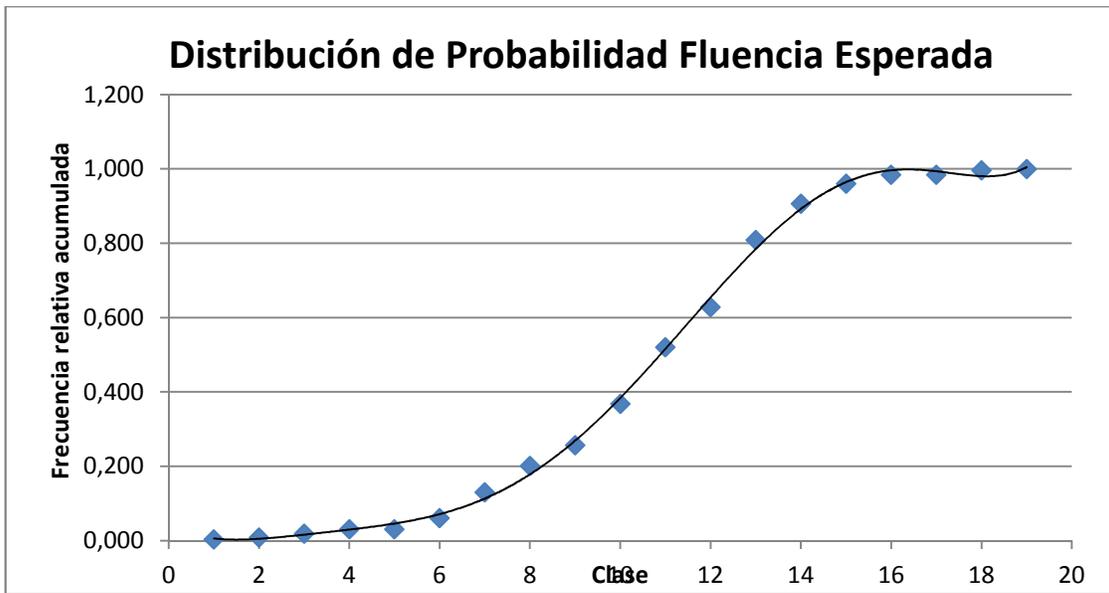


Gráfico N°90: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2011"

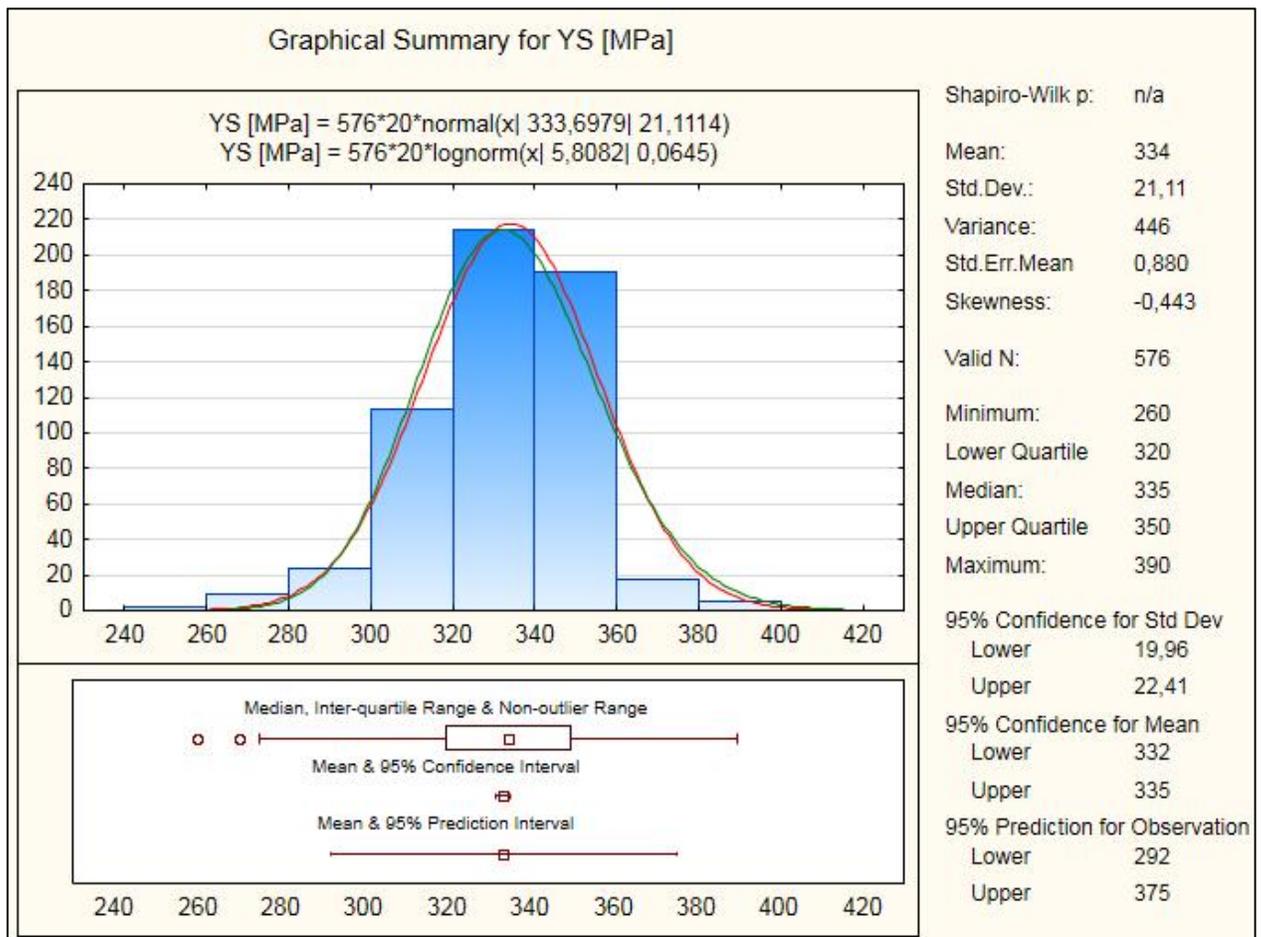


Gráfico N°91: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2011"

Del gráfico se ve que las distribuciones normal y log-normal aplican bastante bien en este caso, por lo que será la normal la escogida para determinar el coeficiente de fluencia esperada.

Ahora, el caso de rotura esperada es análogo.

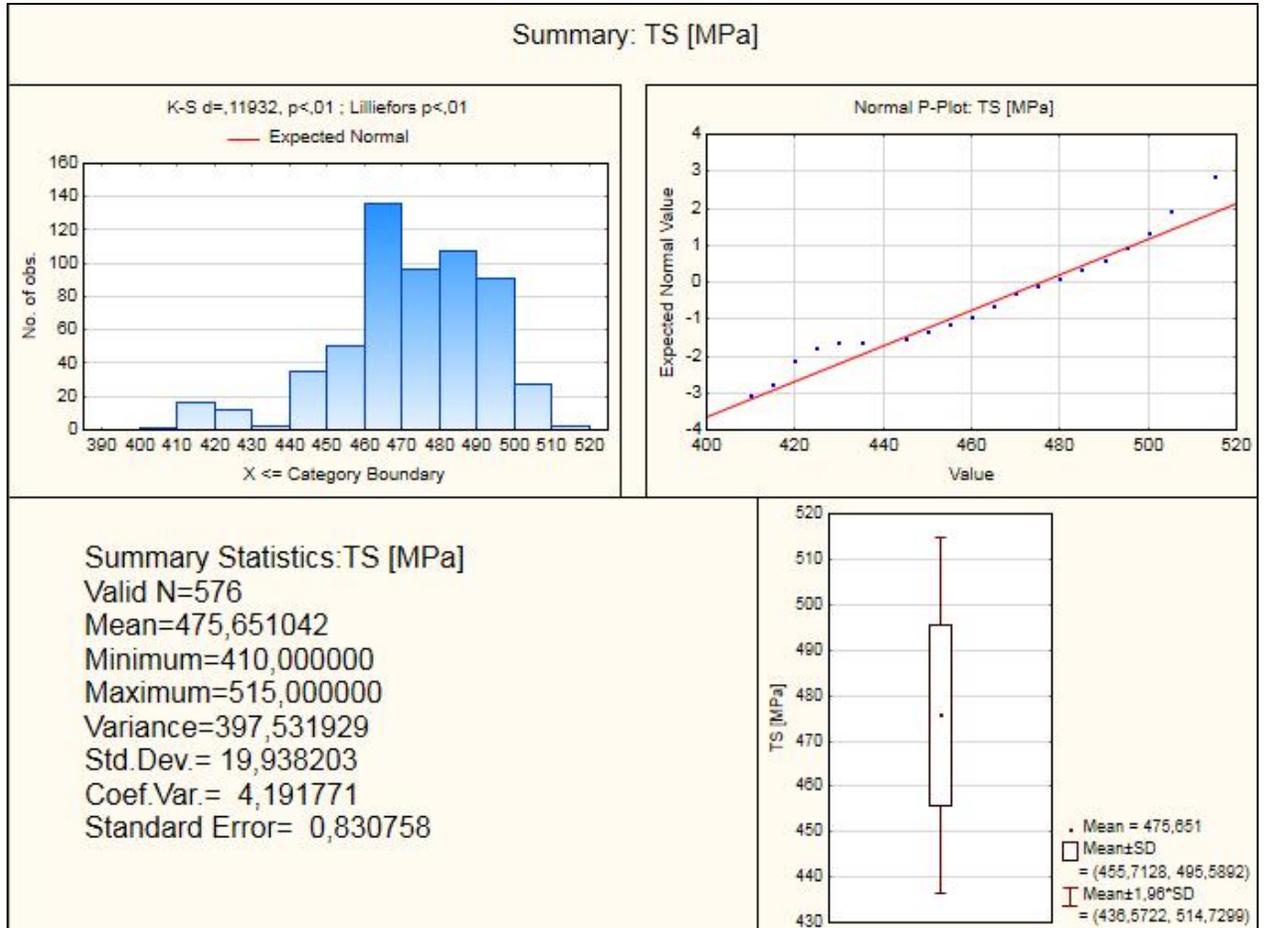


Gráfico N°92: “Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2011”

En este caso la distribución de los datos está cargada a los datos de mayor magnitud, concentrándose altas frecuencias en los últimos intervalos. La Normal P-Plot muestra una tendencia de los datos a ocupar una forma polinómica en torno a la recta de la normal esperada.

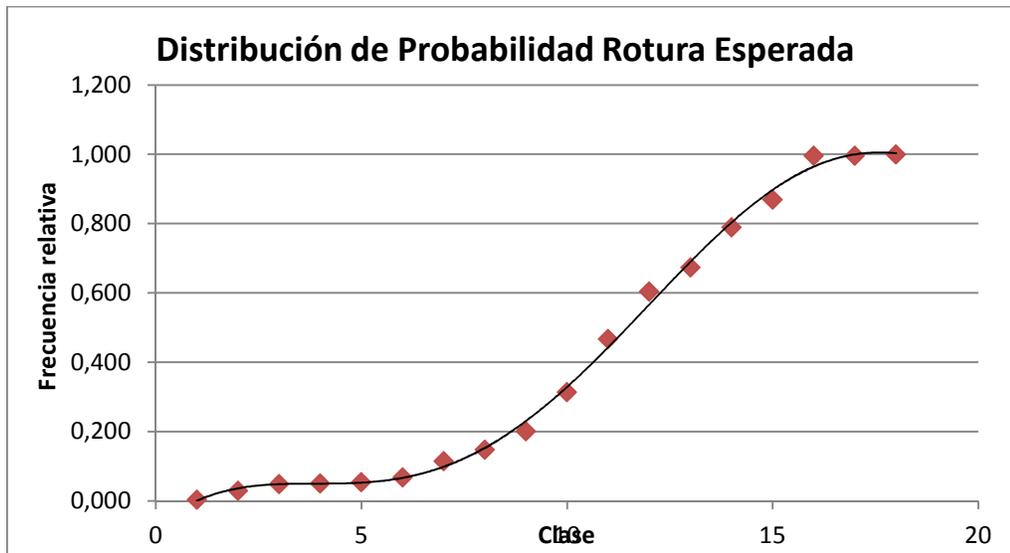


Gráfico N°93: “Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2011”

En este caso, la distribución de frecuencia acumulada muestra la tendencia de los datos a agruparse en el centro de la muestra.

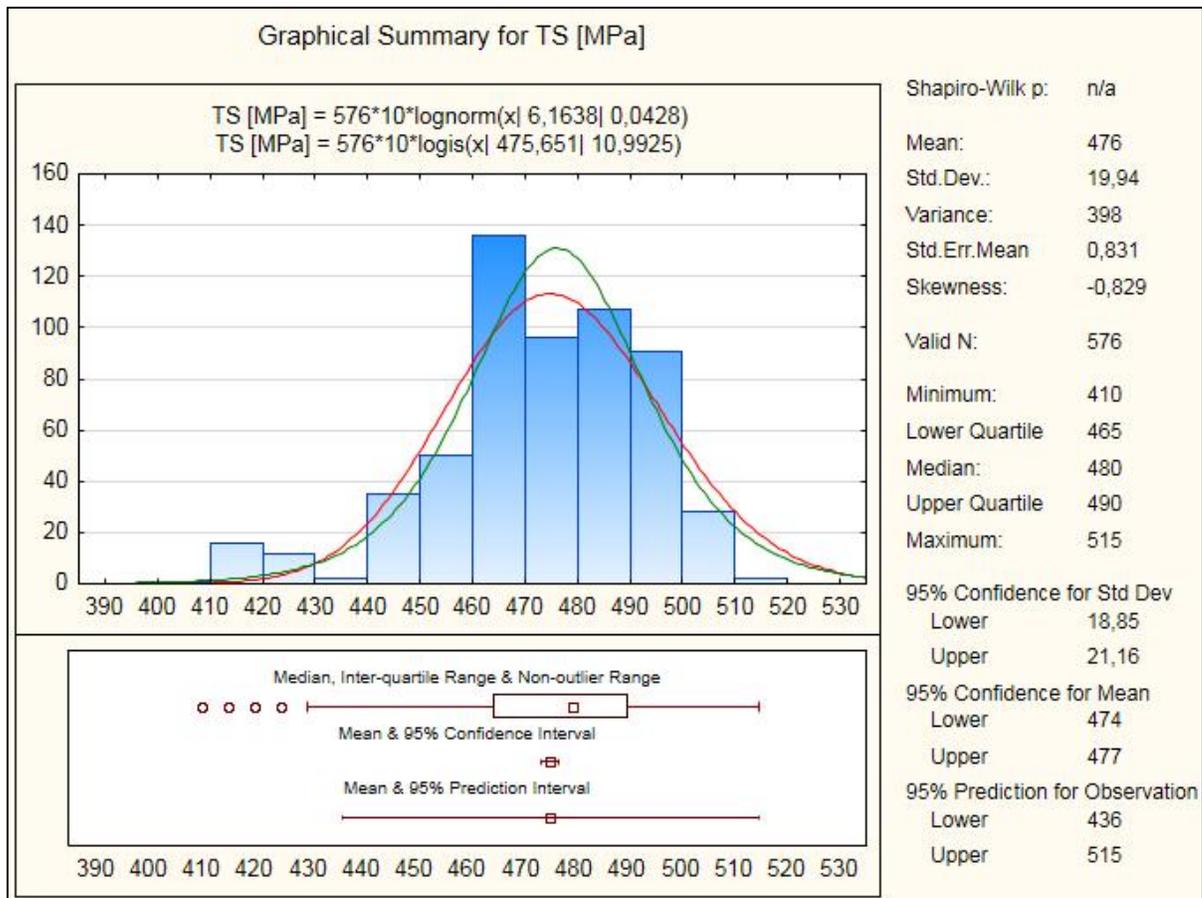


Gráfico N°94: “Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2011”

Se aprecia que las distribuciones que mejor se ajustan al caso de rotura esperada son la distribución log-normal (rojo) y la logística (verde), siendo esta última la que logra un mejor ajuste con la distribución observada, por lo que se toma esta para obtener los coeficientes de rotura esperada.

Con estos resultados, se pueden conocer finalmente los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados para las planchas de acero ASTM A36 importadas a nuestro país durante el año 2011.

Tabla N°36: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Año 2011”

AÑO 2011 ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,42	1,21
R Promedio Ponderado	1,36	1,17
R Percentil 84	1,42	1,21

3.3.3.7 Planchas de Acero ASTM A36 importadas en el año 2012

Acorde a los datos recopilados, a lo largo del año 2012 se importaron casi 22 mil toneladas de planchas de acero calidad ASTM A36 al país, enfocadas a grandes proyectos industriales que estaban en ejecución en ese momento. Con esta no despreciable cifra, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla N°37: “Resultados Estadísticos Acero ASTM A36, Año 2012”

AÑO 2012 ASTM A36	Fluencia	Rotura
Valor Nominal	250,0	410,0
Media	301,2	446,9
Promedio Ponderado	310,5	447,3
Mediana	296,0	443,0
Intervalo Modal	[275,285[(4)	[440,449[(5)
Desviación Estándar	28,05	19,60
Diferencia Mediana y Media	1,72%	0,86%
Diferencia Mediana y Promedio Ponderado	4,90%	0,96%
Valor Percentil 84	326,5	461,0

En la Tabla se ve que para el caso de Fluencia Observada se tiene que los valores de tendencia central están por sobre el límite superior del intervalo modal y que las diferencias porcentuales entre la Mediana y las Medias es bastante alto. Por otro lado, en el caso de Rotura se tiene que la Media, Media Ponderada y Mediana están dentro del intervalo modal y las diferencias porcentuales entre ellas es bastante baja. Entonces, a priori se tiene que en Fluencia no hay distribución conocida y en Rotura se puede esperar que haya normalidad.

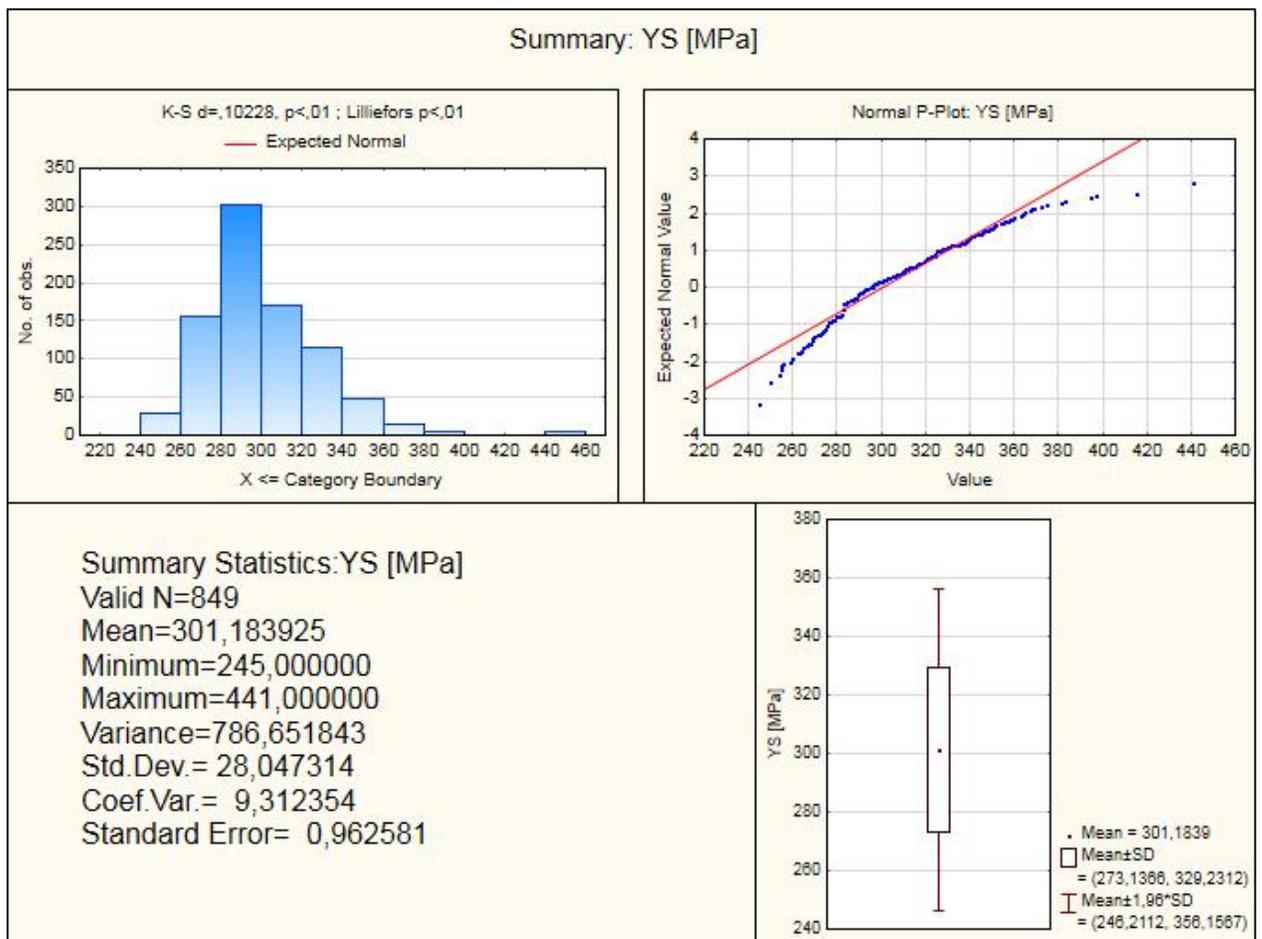


Gráfico N°95: “Histograma Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2012”

En el histograma se puede ver una curva muy similar a la de la distribución Log Normal. Además, se explica el que las medidas de tendencia central tienen valores por sobre el límite superior del intervalo modal, ya que hay muchos valores sobre el intervalo comprendido entre 280 y 300 [MPa]. En el Normal P-Plot se ve que los datos observados tienden a formar una curva logarítmica.

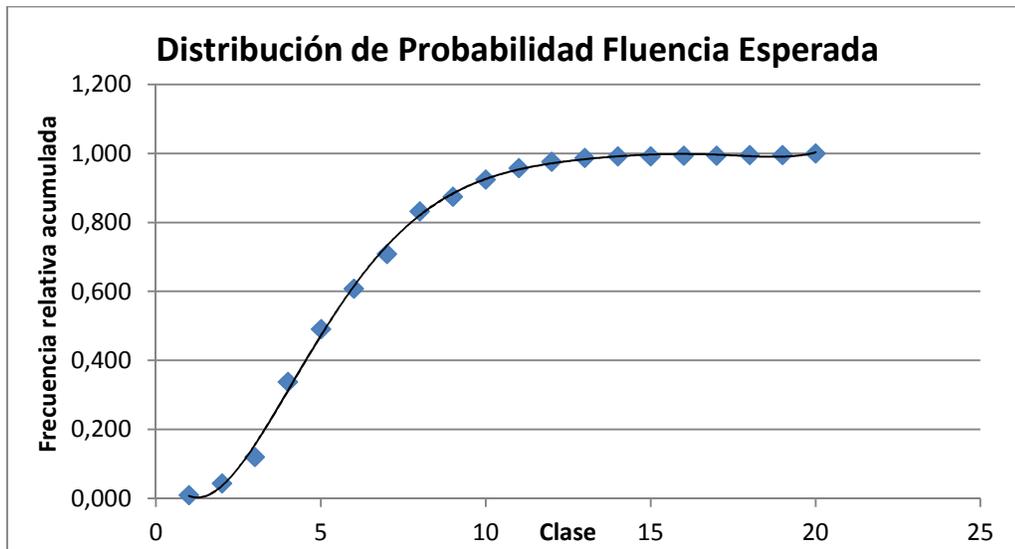


Gráfico N°96: "Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2012"

Se ve una distribución no homogénea, pues se concentran los datos principalmente en los primeros 8 intervalos, lo que es característico de distribuciones como la log-normal.

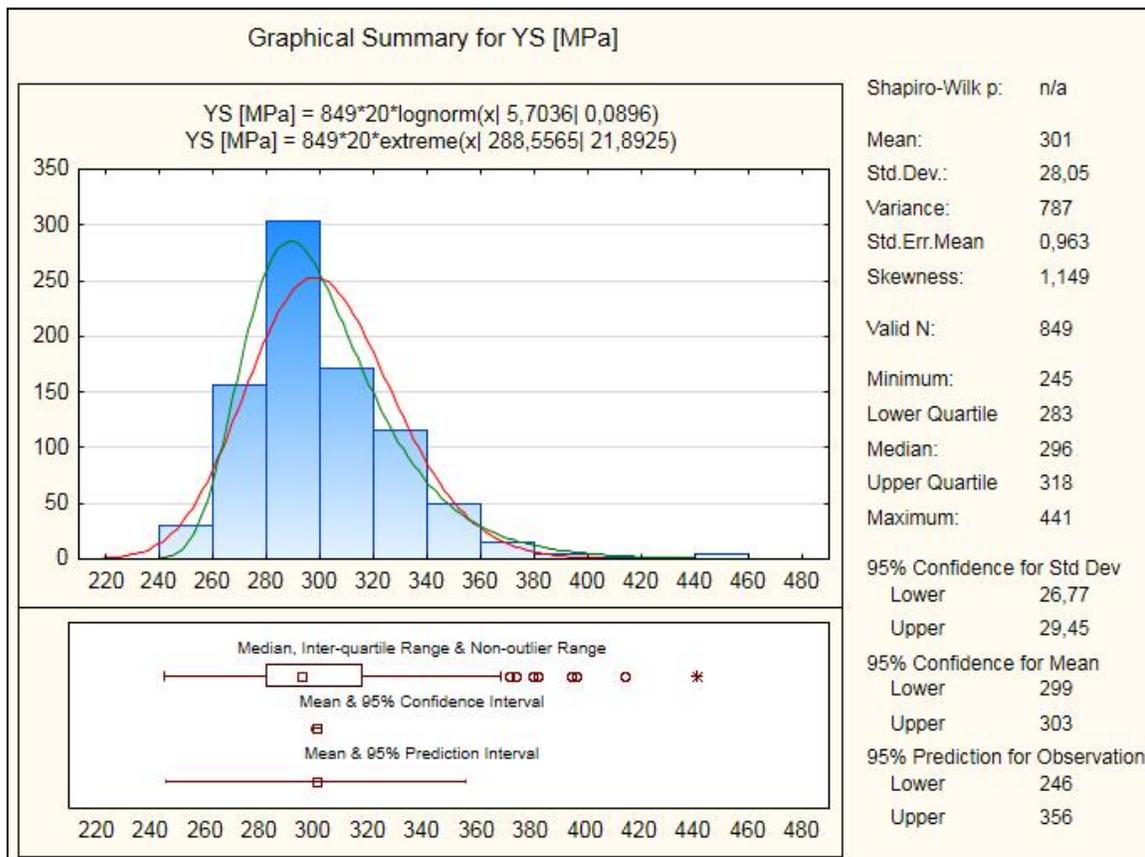


Gráfico N°97: "Determinación Distribución de Probabilidad Fluencia Esperada Acero ASTM A36, Año 2012"

En el gráfico n°97 se ve que las distribuciones que mejor se ajustan al caso de fluencia esperada, son la distribución log-normal (rojo) y la extrema (verde). Esta última se escoge por sobre la primera para obtener los valores característicos y determinar los coeficientes de fluencia esperada.

Por último, se hace el análisis para la rotura esperada.

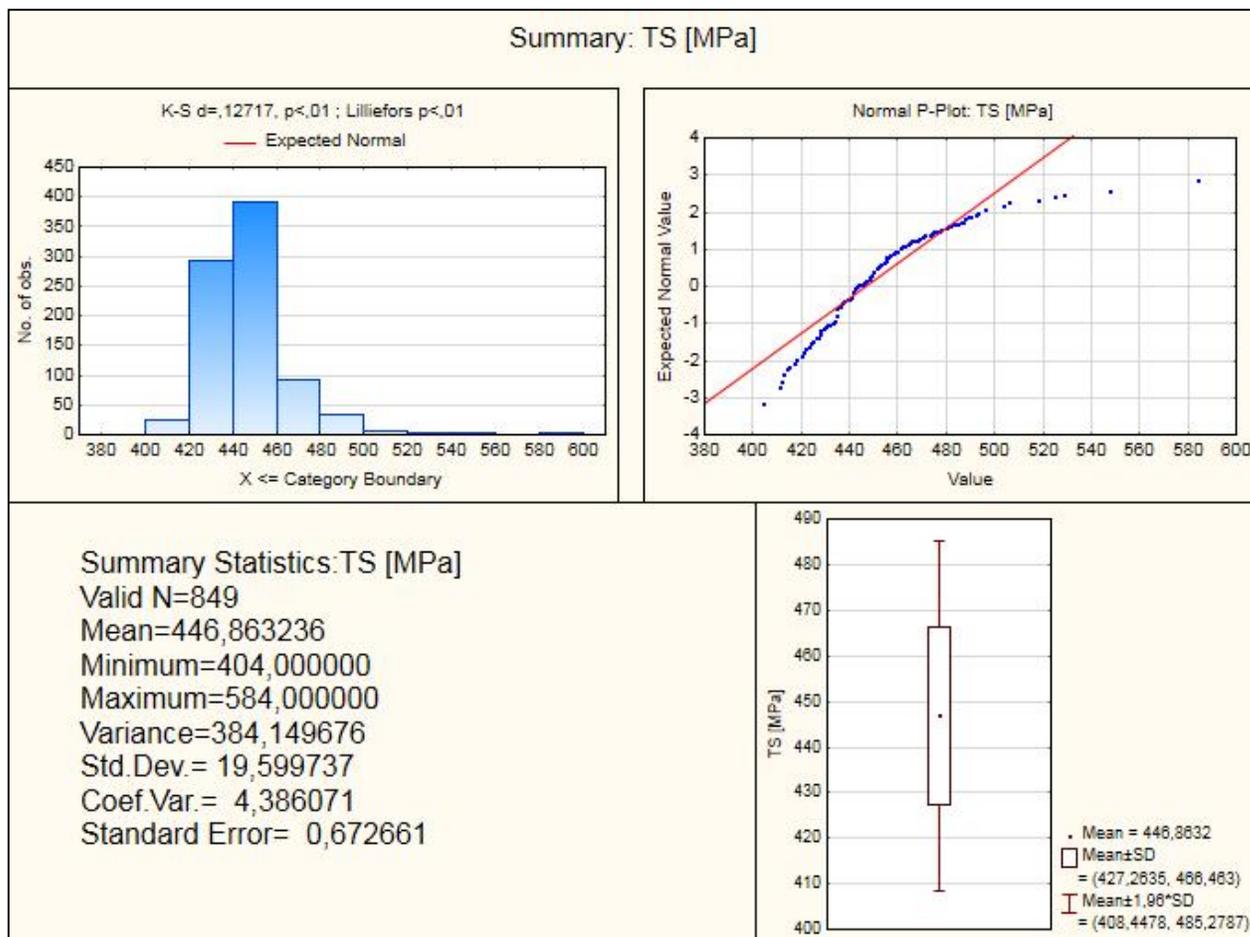


Gráfico N°98: "Histograma Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2012"

Al igual que para el caso de Fluencia se ve una tendencia del histograma a parecerse a una distribución del tipo log-normal, lo que es corroborado por el Normal P-Plot, que forma una curva similar a un logaritmo. Aun así, es necesario hacer el análisis riguroso, ya que en el caso anterior la distribución extrema se ajustaba mejor que la distribución log-normal.

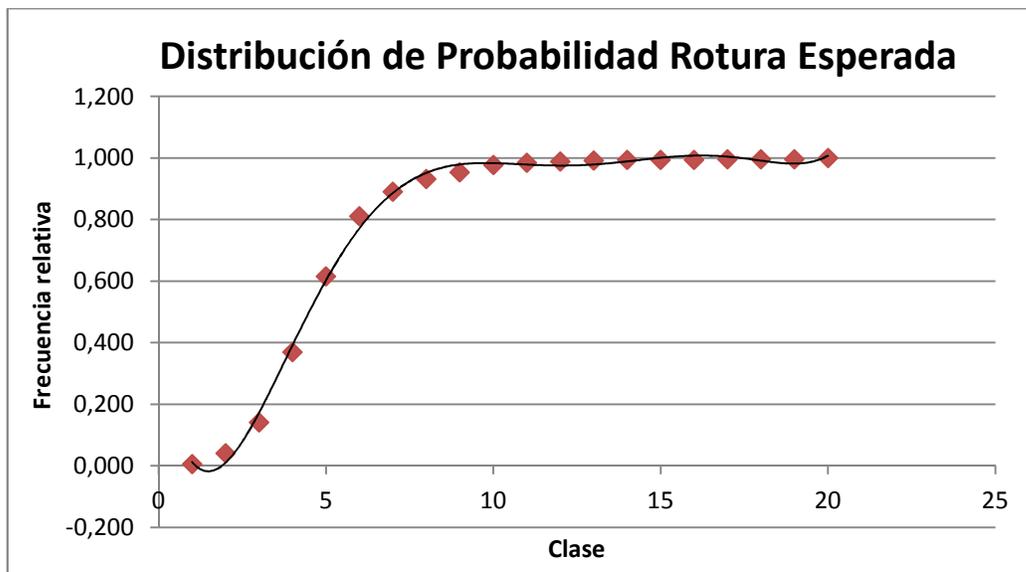


Gráfico N°99: "Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2012"

Se ve del Gráfico N°99 que la distribución de frecuencia acumulada es muy heterogénea, tal como se tiene a priori del histograma.

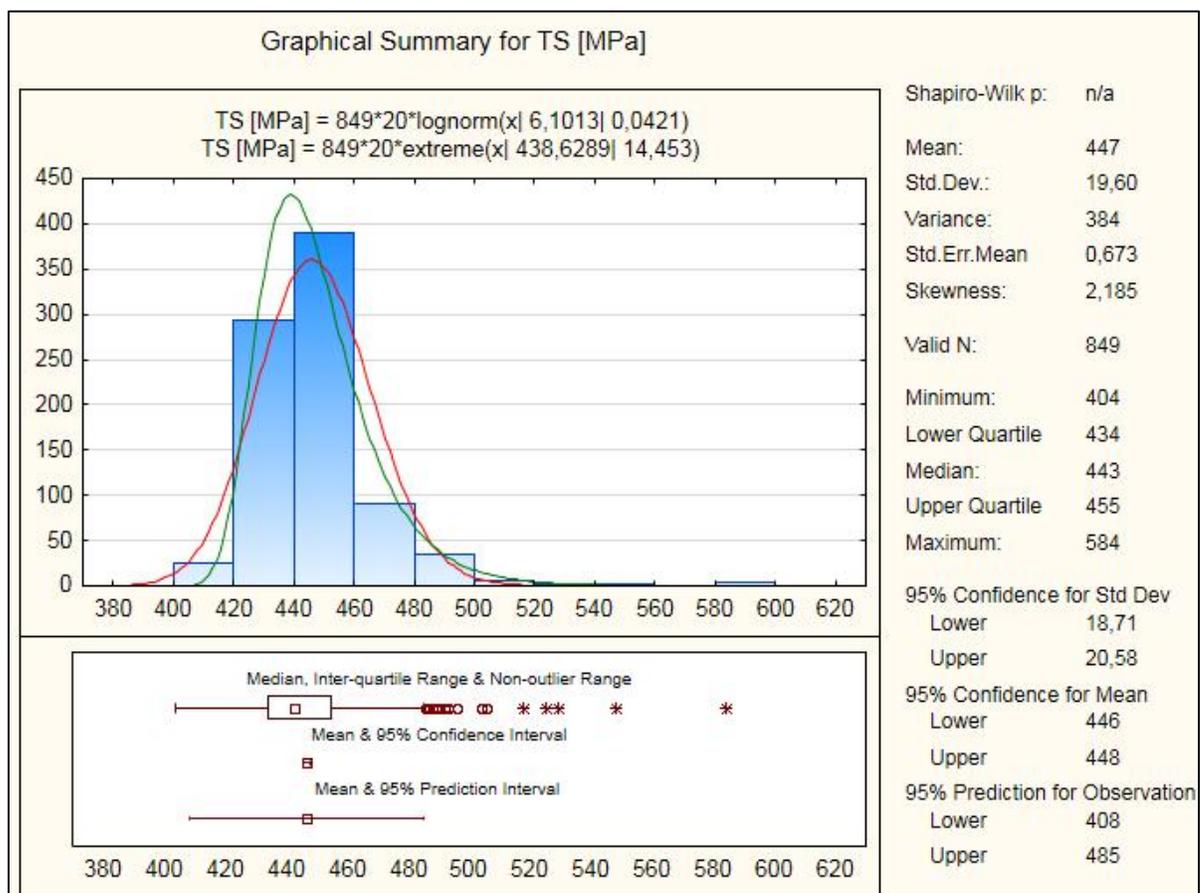


Gráfico N°100: "Determinación Distribución de Probabilidad Rotura Esperada Acero ASTM A36, Año 2012"

En este caso, las distribuciones que más se asemejan a la distribución observada son la log-normal (rojo) y la extrema (verde). Sin embargo, a diferencia del caso anterior, la distribución log-normal se ajusta mejor al muestreo de datos y es esa distribución la que se escoge para realizar el estudio correspondiente y determinar los coeficientes de rotura esperada.

Finalmente, los Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados obtenidos para las planchas de acero calidad ASTM A36 importadas durante el año 2012, son los siguientes.

Tabla N°38: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados ASTM A36, Año 2012”

AÑO 2012 ASTM A36	Ry	Rt
R Promedio	1,32	1,14
R Promedio Ponderado	1,35	1,14
R Percentil 84	1,31	1,12

3.3.3.8 Resultados por año para acero nacional

Los resultados obtenidos para los rollos laminados en caliente elaborados íntegramente en nuestro país, se obtienen directamente de los promedios anuales enviados por CAP. Así, se hace una tabla para las calidades A270ES y A345ES, separando los resultados por año.

3.3.3.8.1 Rollos Laminados en Caliente A270ES

Tabla N°39: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados, A270ES”

Año	Ry	Rt
2013	1,24	1,15
2012	1,24	1,14
2011	1,28	1,16
2009	1,22	1,14
2008	1,25	1,15
2007	1,29	1,15
2006	1,26	1,15

3.3.3.8.2 Rollos Laminados en Caliente A345ES

Tabla N°40: “Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados, A345ES”

Año	Ry	Rt
2013	1,27	1,12
2012	1,28	1,11
2011	1,25	1,12
2009	1,19	1,11
2008	1,19	1,12
2007	1,38	1,21
2006	1,30	1,17

3.4 Resumen de Resultados Obtenidos

Se procede a entregar tablas resumen acorde al desglose hecho a lo largo del estudio.

3.4.1 Resumen Según Calidad de Acero.

Tabla N°41: “Resumen Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados según Calidad de Acero”

Calidad de acero	Ry	Rt
Planchas ASTM A36	1,34	1,18
Planchas ASTM A572 Gr 50	1,26	1,29
Rollos Laminados en Caliente A270ES	1,25	1,15
Rollos Laminados en Caliente A345ES	1,26	1,14

3.4.2 Resumen Según País de Origen.

Tabla N°42: “Resumen Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados según País de Origen”

Calidad de acero	País de Origen	Ry	Rt
Planchas A36	Brasil	1,31	1,16
	China	1,33	1,20
	Japón	1,30	1,10
	Ucrania	1,37	1,18
Planchas A572 Gr 50	China	1,28	1,3
	Ucrania	1,23	1,27
Rollos Laminados A270ES	Chile	1,25	1,15
Rollos Laminados A345ES	Chile	1,26	1,14

3.4.3 Resumen Según Año de Importación o Fabricación.

Tabla N°43: “Resumen Valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados según Año de Importación o Fabricación de la plancha o rollo laminado en caliente.”

Calidad de acero	Año	Ry	Rt
Planchas A36	2006	1,36	1,20
	2007	1,30	1,16
	2008	1,37	1,20
	2009	1,24	1,12
	2010	1,33	1,21
	2011	1,42	1,21
	2012	1,33	1,14
Planchas A572 Gr 50	2006	1,24	1,25
	2008	1,23	1,27
	2010	1,28	1,31
Rollos Laminados A270ES	2006	1,26	1,15
	2007	1,29	1,15
	2008	1,25	1,15
	2009	1,22	1,14
	2011	1,28	1,26
	2012	1,24	1,14
	2013	1,24	1,15
Rollos Laminados A345ES	2006	1,3	1,17
	2007	1,38	1,21
	2008	1,19	1,12
	2009	1,19	1,21
	2011	1,25	1,12
	2012	1,28	1,11
	2013	1,27	1,12

3.5 Requerimientos NCh 203 Of 2006

La Norma Chilena NCh 203 Oficializada el 2006 establece un parámetro máximo que debe cumplir el acero para ser aceptable, el cual corresponde a la razón $F_y/F_u = 0.85$. Se muestran a continuación los coeficientes para el total de datos, de acuerdo a la calidad de acero, a lo que se le añade el porcentaje de elongación de rotura observada.

Tabla N°44: “Verificación requerimientos NCh 203 Of 2006”

Calidad de acero	Fy/Fu	EL[%]
Planchas A36	0,67	29,4
Planchas A572 Gr 50	0,73	29,4
Rollos Laminados A270ES	0,72	-
Rollos Laminados A345ES	0,75	-

4. CONCLUSIONES

A partir de lo acontecido a lo largo de este estudio, se pueden tomar variadas conclusiones, las cuales se hacen por sectores del trabajo para tener una mejor focalización.

4.1 Generalidades

Antes que cualquier cosa, se concluyó que se debiera normar de mejor manera el certificar la calidad del acero estructural, ya que si bien se hace una acotación inferior dada por el valor nominal de fluencia y rotura (el cual es muy conservador), no se tiene control sobre el valor real al que fluye o se rompe el material, por lo que en algunos casos se obtuvo valores de Coeficientes de Fluencia y Rotura Esperados muy altos, lo que no necesariamente indica que el acero es de mejor calidad, sino que no responde a los valores esperados al momento de hacer el diseño.

La dispersión de los datos jugó un rol fundamental en el estudio y, continuando con la idea anterior, se le pide al fabricante únicamente que el acero que se compra cumpla con el mínimo, pero para una misma calidad de planchas o rollos laminados que se han comprado, unos fallarán antes que otros porque no es claro en qué condiciones reales viene el elemento.

La cantidad de datos y resultados hizo imposible el incluir dentro de este trabajo todas las tablas, por lo que se dejaron en manos del profesor guía en formato digital. En caso de cualquier indagación más profunda, se debe consultar esa fuente.

4.2 Análisis Estadístico

En cuanto al análisis estadístico del estudio, se pueden tomar varias conclusiones y hacer comentarios al respecto.

Durante el estudio se consideró el valor del Percentil 84 (P_{84}) debido a que es un valor muy común en este tipo de trabajos, incluyéndolo incluso en el cálculo de los coeficientes R_y y R_t . Se observó que en general todos los valores obtenidos a partir del P_{84} son similares a los valores de los valores medios más una desviación estándar, por lo que al momento de analizar los resultados de coeficientes obtenidos y compararlos con los de la Norma AISC, se considera este valor tanto como los de media y media ponderada.

Por medio del software Statistica se pudo obtener una distribución de probabilidad que se ajuste a cada una de las distribuciones observadas a lo largo del estudio, entregándole al mismo un mejor grado de confiabilidad al momento de determinar los coeficientes de fluencia y rotura esperadas.

Se pudo ver que los valores obtenidos mediante la Media y la Media ponderada no eran significativamente distintos, por lo que se infiere que el peso de las planchas no influye en la determinación de los coeficientes de fluencia y rotura.

4.3 Conclusiones sobre resultados obtenidos y Comparación con valores de la Norma ANSI/AISC 314-10.

La Tabla N°1 es la que se encuentra en la Norma ANSI/AISC 34-10 y es el punto de comparación de los resultados obtenidos en este estudio. Así, dividiremos el análisis de acuerdo a los resultados generales, por origen y por año, tal como se subdividió a lo largo de la memoria. Adicionalmente se agrega que se vio que los resultados obtenidos no variaban mayormente dependiendo de si se consideraba el promedio simple o el promedio ponderado, por lo que los resultados se analizan tomando esa premisa. Por último, se hace el alcance que los resultados generales son los que se encuentran en la Norma, por lo que los valores de acuerdo al país de origen y el año en que se fabricaron los elementos son obtenidos para ver cómo varía este valor de acuerdo a la condición y no es necesario hacer comparación con la AISC.

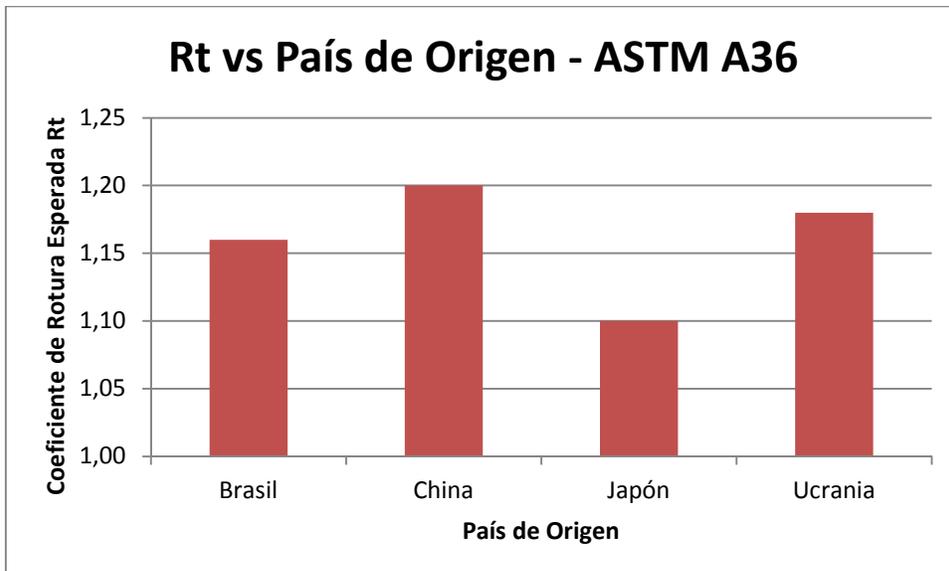
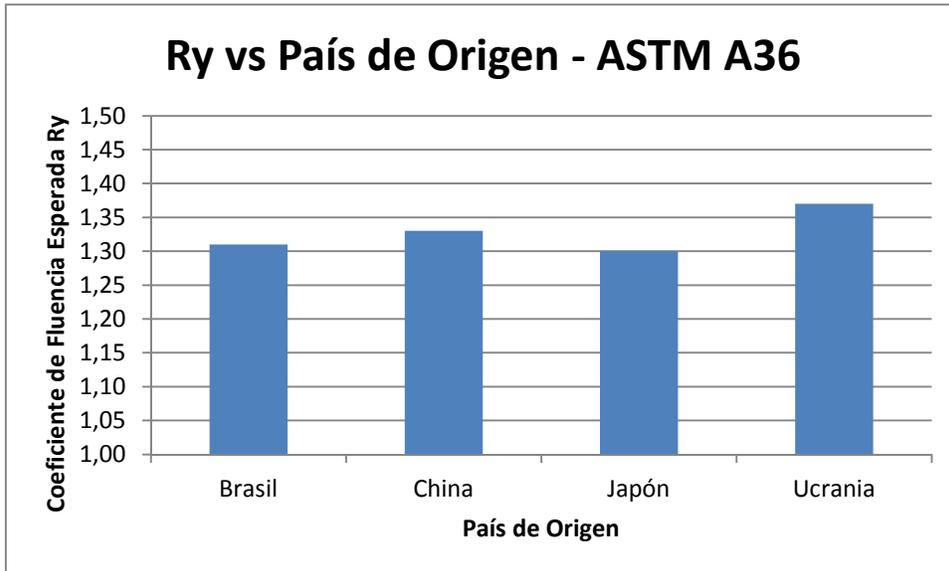
4.3.1 Resultados Generales

- Para el caso de las planchas de acero calidad **ASTM A36**, se obtuvieron valores $R_y = 1.34$ y $R_t = 1.18$, los cuales son similares a los valores de la Norma ANSI/AISC 34-10 que son $R_y = 1.3$ y $R_t = 1.2$, teniéndose una diferencia de 3% y -1,6% respectivamente.
- Para el caso de las planchas de acero calidad **ASTM A572 Gr 50**, se obtuvieron valores $R_y = 1.26$ y $R_t = 1.29$, los cuales son superiores a los valores de la Norma ANSI/AISC 34-10 que son $R_y = 1.1$ y $R_t = 1.2$, teniéndose una diferencia de 12,7% y 7% respectivamente.
- Para los rollos laminados en caliente de acero nacional calidad **A270ES** se obtuvieron valores $R_y = 1.25$ y $R_t = 1.15$, los cuales no tienen comparación con la Norma AISC, por lo que podrían ser utilizados directamente. Se propone el añadirlos a la Norma en porcentaje (25% y 15% respectivamente) en vez de escribirlos como coeficientes de fluencia y rotura esperados.
- Para los rollos laminados en caliente de acero nacional calidad **A345ES** se obtuvieron valores $R_y = 1.26$ y $R_t = 1.14$, los cuales no tienen comparación con la Norma AISC, por lo que podrían ser utilizados directamente. Se propone el añadirlos a la Norma en porcentaje (25% y 15% respectivamente), al igual que el caso del acero calidad A270ES

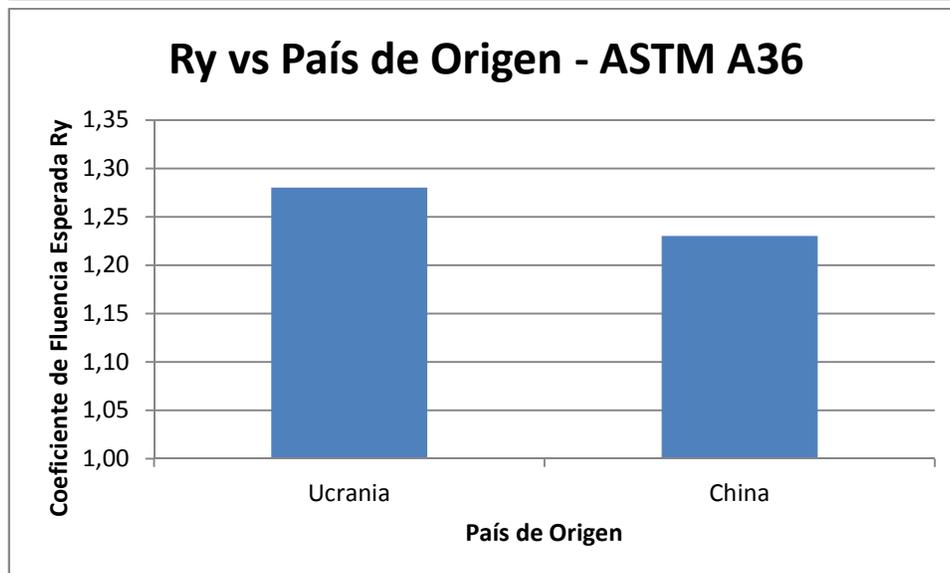
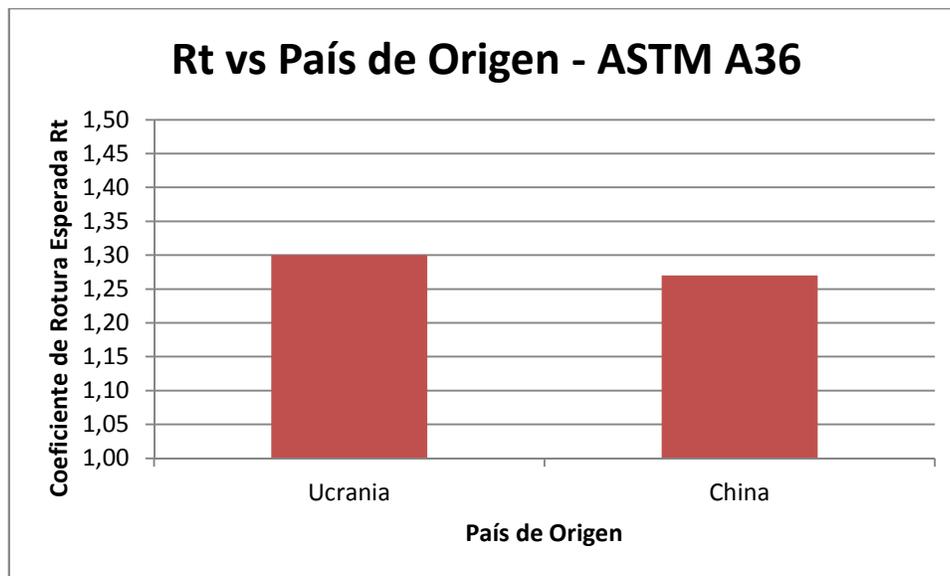
4.3.2 Resultados Según País de Origen

Como se dijo, para este caso no se considera la comparación con la AISC, sino que se compara el valor del Coeficiente de Resistencia Esperada correspondiente al país de origen con los valores entre países para ver posibles variaciones.

- **Planchas ASTM A36:**



- **Planchas ASTM A572 Gr 50:**



4.3.3 Resultados Según Año de Importación o Elaboración

A medida que pasan los años puede haber variaciones en la calidad de acero por varios motivos, como cambios en la forma de elaborarlos, daños en transporte u otras alternativas. Por eso es que hay que comparar los coeficientes por año con respecto al global, para ver tendencias de variaciones.

- Planchas ASTM A36:** En el estudio se vio que la mejor regularidad en cuanto a la cantidad de datos obtenidos corresponde a las planchas de acero ASTM, de las cuales se tiene registro para todos los años. Se ha hecho un estudio de cómo varía el coeficiente de fluencia y el de rotura con el transcurso de los años, cuyos gráficos se entregan a continuación.

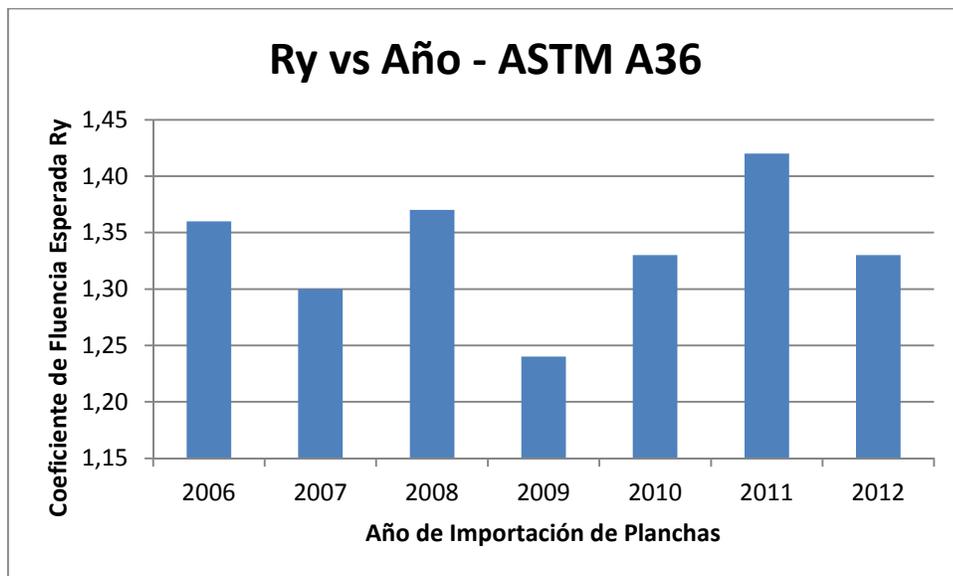


Gráfico N°101: “Variación Coeficientes de Fluencia Esperada ASTM A36 en el tiempo”

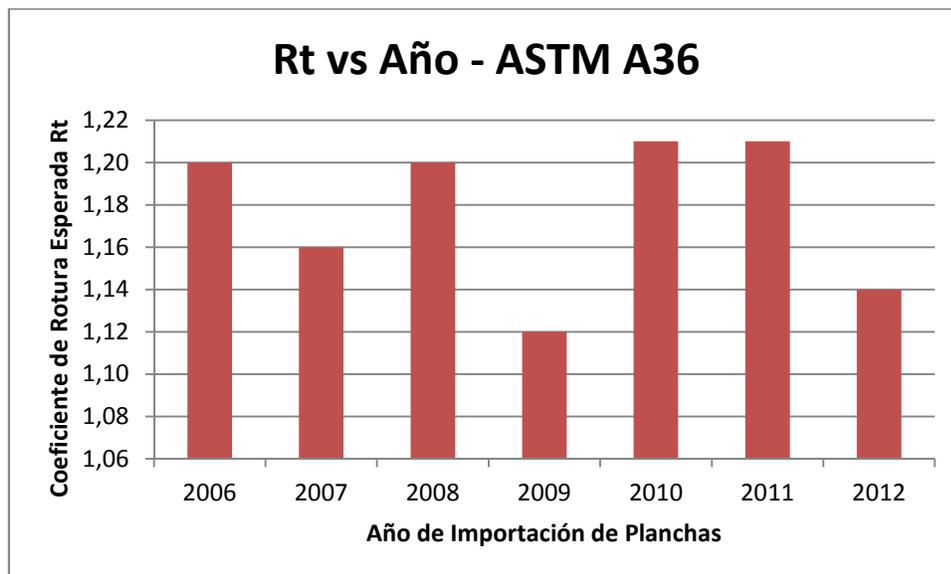


Gráfico N°102: “Variación Coeficientes de Rotura Esperada ASTM A36 en el tiempo”

Se ve claramente que no hay una tendencia regular, que las diferencias no son significativas, salvo lo sucedido en el año 2009, donde los valores de fluencia real se asemejan a los entregados por la teoría.

- **Planchas ASTM A572 Gr 50:** Se ha visto que para este tipo de acero se tienen pocos años de importaciones, dado que es un tipo de acero menos utilizado, salvo en casos en que es requerido directamente por el cliente de la maestranza. Se tienen resultados sólo para los años 2006, 2008 y 2010, los cuales se muestran a continuación.

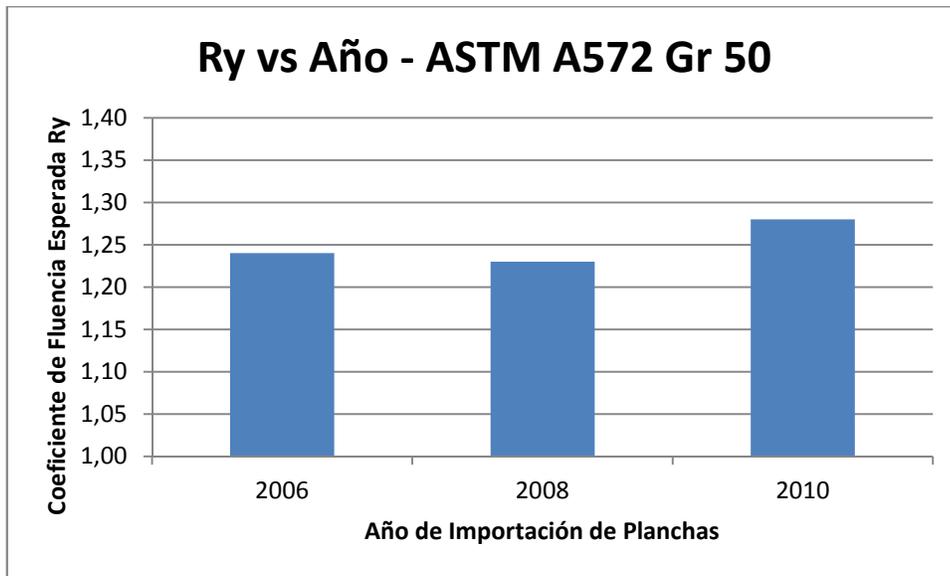


Gráfico N°103: "Variación Coeficientes de Fluencia Esperada ASTM A572 Gr 50 en el tiempo"

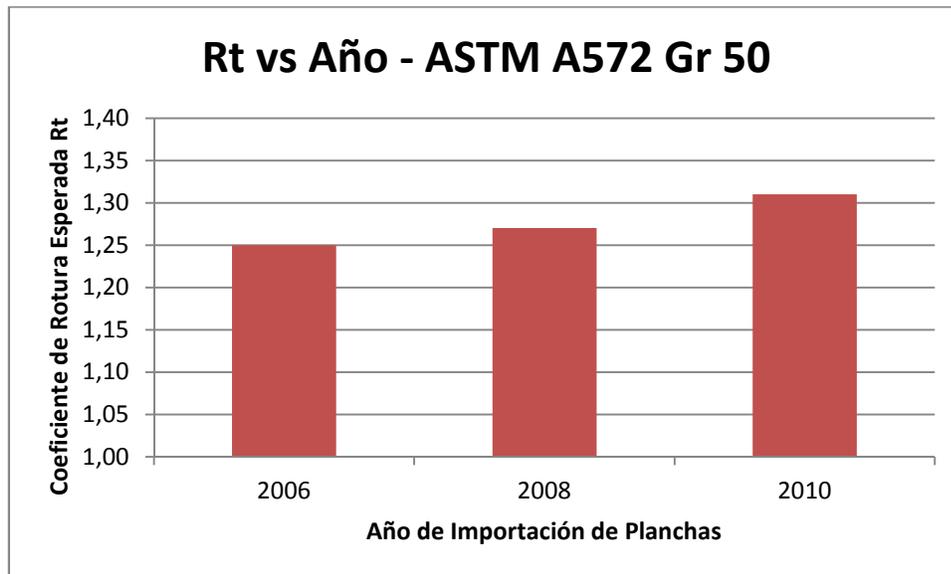


Gráfico N°104: "Variación Coeficientes de Rotura Esperada ASTM A572 Gr 50 en el tiempo"

En ambos casos no se aprecia alguna tendencia clara ni una influencia del factor tiempo en el valor de los coeficientes de fluencia y rotura esperados para el caso de las planchas de acero ASTM A572 Gr 50.

- **Rollos laminados en caliente A270ES:** Se hace un análisis análogo a los casos anteriores para este caso.

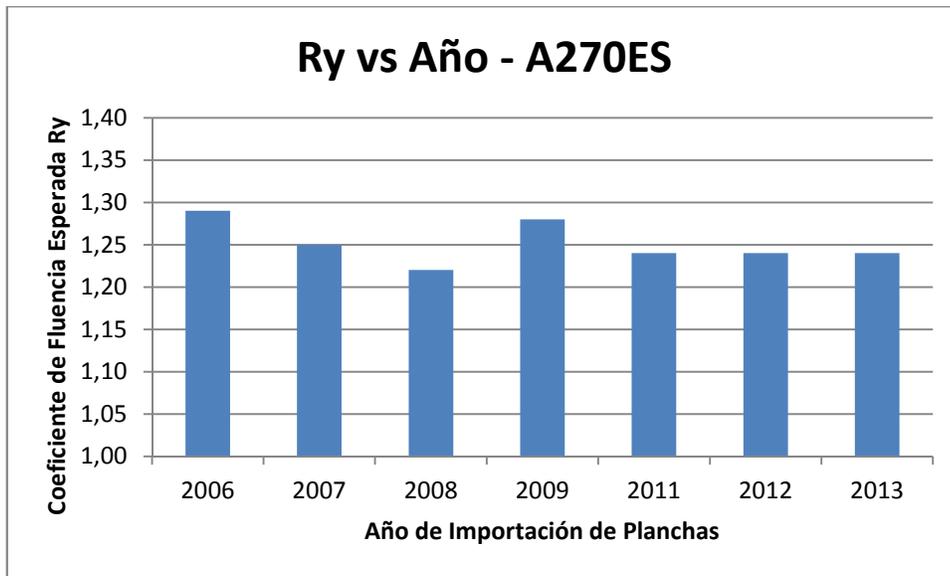
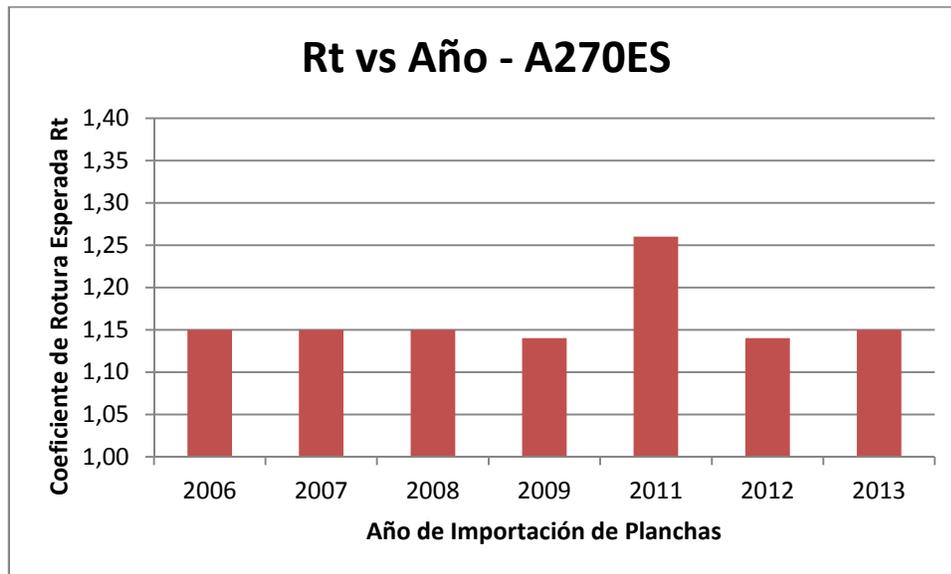
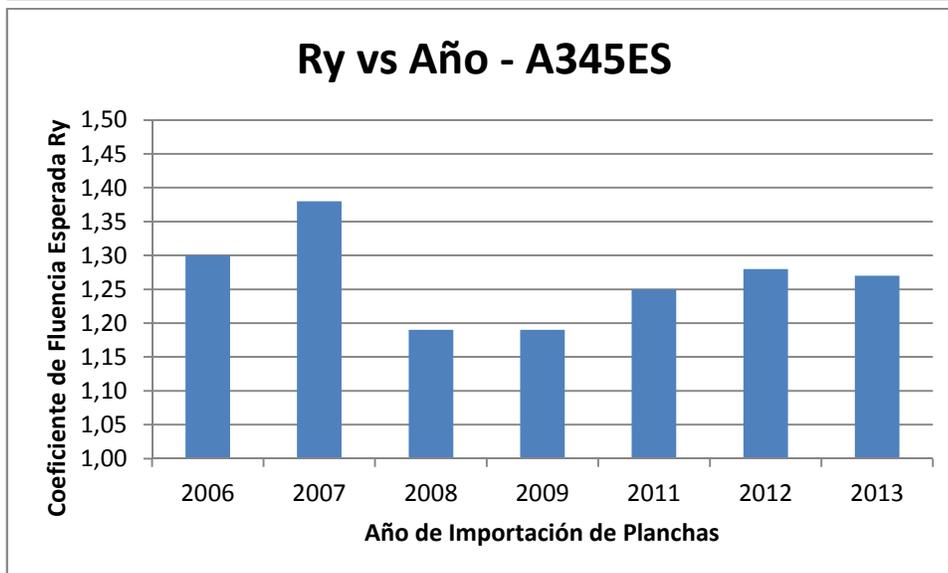
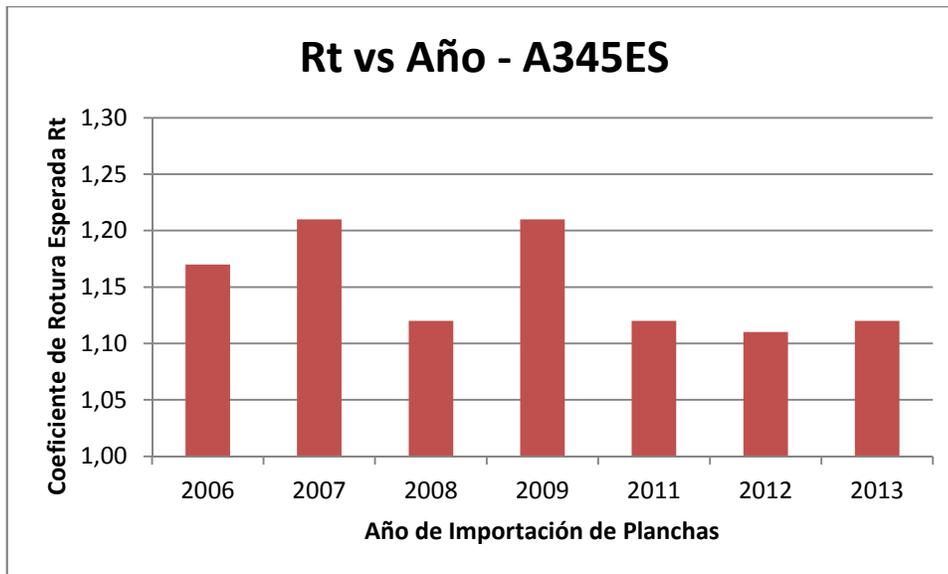


Gráfico N°105: "Variación Coeficientes de Fluencia Esperada A270ES en el tiempo"



- **Rollos laminados en caliente A345ES:**



4.3.4 Conclusiones de los Resultados Obtenidos Para Coeficientes Ry y Rt dependiendo del año y el origen.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos tanto por año como por origen, se ve que las variaciones no presentan ninguna tendencia que pueda ser interpretada para eventos pasados o futuros ya que las mayores fluctuaciones en los valores obtenidos son locales, por lo que considerar que son significativos y que probablemente pudieran marcar una tendencia no tiene sentido. De este modo se concluye que los coeficientes de fluencia y rotura esperadas no dependen del país del que provengan ni del año en que se importan o fabrican las planchas, por lo que las recomendaciones de valores deben hacerse sólo considerando la calidad del acero y si el material a analizar corresponde a perfiles soldados o laminados. Por otro lado, lo importante al analizar los resultados por origen o país es que cumpla con la relación F_y/F_u y la elongación máxima de rotura tal como pide la NCh203 of 2006.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. AISC (2010b). "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings". ANSI/AISC 341-10. American Institute of Steel Construction. EE.UU, 2010.
2. Federal Emergency Management Agency. "Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings". FEMA-350. EE.UU, 2000.
3. Federal Emergency Management Agency. "State of the Art Report on Base Metals and Fracture". FEMA-355A. EE.UU, 2000.
4. Instituto Nacional de Normalización. "Acero para uso estructural". NCh230. Chile, 2006.
5. RODRÍGUEZ Luis. Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros. Guayaquil, 2007. 311 p.
6. MICROSOFT. Distribución de Weibull, Excel. [en línea] <<http://office.microsoft.com/es-es/excel-help/dist-weibull-HP005209338.aspx>>
7. WIKIPEDIA. Distribución de Weibull. [en línea] <http://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_de_Weibull>
8. http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf
9. <http://www.usiminas.com/irj/portal>
10. http://www.bao-min.com/Default_e.aspx
11. <http://www.jigang.com.cn/en>
12. <http://www.sha-steel.com/eng/>
13. http://www.wfsteel.com/en/intro_branch.asp?branch_id=1
14. <http://www.valin.cn/2009en/job/hlglxy.asp>
15. http://www.hoovers.com/company-information/cs/company-profile.Suzhou_Longshine_Logistic_Co_Ltd.8166a7039990f978.html
16. <http://www.xbysteel.com/>
17. http://www.shougang-intl.com.hk/eng/business/plates_qinhuangdao.php
18. <http://www.bxsteel.com/>
19. http://www.njsteel.com.cn/portal/english/static.jsp?palias=english&alias=english_abo utus
20. <http://www.junhesteel.com/en/company2.html>
21. http://pt.wikipedia.org/wiki/Companhia_Sider%C3%B3rgica_Paulista
22. <http://www.nssmc.com/en/index.html/>
23. <http://www.kobelco.co.jp/english/>
24. <http://www.tokyosteel.co.jp/company.html>
25. <http://ilyichsteel.metinvestholding.com/en>
26. <http://www.ugmk.ua/en/factory/info-1.html>
27. <http://www.capacero.cl/>
28. SÁEZ Antonio. Apuntes de Estadística para Ingenieros. Jaén, 2012. 235 p.
29. http://es.wikipedia.org/wiki/Media_ponderada
30. INN. "NCh 203.Of 77: "Acero Para Uso Estructural – Requisitos". Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
31. ORELLANA Liliana. Estadística Descriptiva. Marzo 2001. 64 p.
32. TAMBORERO José. NTP 418: Fiabilidad de la distribución lognormal. España, 1990. 7p