



CONCURSO

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

La VIII versión del concurso, tiene como objetivo destacar a aquellos alumnos de las carreras de Ingeniería y construcción civil que hayan desarrollado o se encuentren desarrollando **Memorias / Investigaciones / Proyectos de título / Patentes de Ingeniería y Construcción.**



A decorative graphic on the left side of the slide. It features a series of concentric circles in a lighter shade of purple, centered in the upper-left quadrant. A thick white L-shaped line starts from the bottom of the circles and extends horizontally to the right, then vertically down to the bottom edge of the slide.

EQUIPO ING2687

**Estimación de propiedades
mecánicas de pino radiata
estructural mediante el uso
de procesamiento de
imágenes**

Introducción

La industria de la construcción a nivel mundial presenta tres grandes falencias, baja productividad; baja sostenibilidad y baja digitalización. En Chile se tiene que, la productividad media en la economía nacional es **35,5%** mayor que la de construcción [\[3\]](#).

En Chile, menos del **20%** de las viviendas se construyen con estructura de madera [\[7\]](#). Dado esto, es fundamental el desarrollo y la implementación de políticas que logren fomentar el uso de la madera estructural. De acuerdo con cifras del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) del año 2015 [\[8\]](#), se observa que solo un **18%** de las viviendas en el país usa madera como material predominante, utilizando solo una quinta parte de la madera cosechada.

La resistencia de la madera obtenida de la clasificación visual puede verse reducida en un **30%** en relación a la resistencia obtenida en ensayos experimentales [\[1\]](#).

Antecedentes

Para el presente estudio se analizan 55 probetas de pino radiata, de sección 50x50x200mm, a las cuales se les ejecutan ensayos de resistencia a la compresión paralela a la fibra y humedad, en donde se obtienen los siguientes resultados.

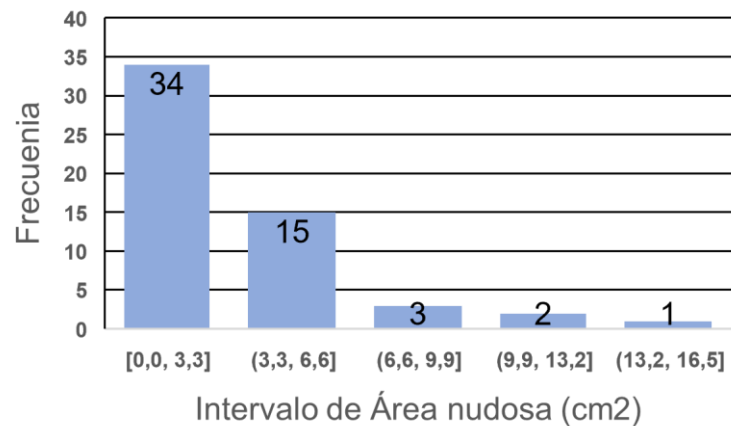


Figura 1: Histograma de resultados área nudosa (cm²).

Fuente: Elaboración propia.

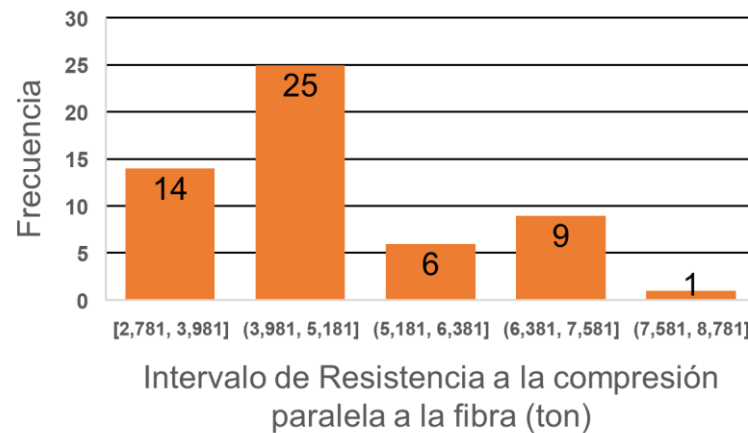


Figura 2: Histograma de resultados compresión paralela a la fibra.

Fuente: Elaboración propia.

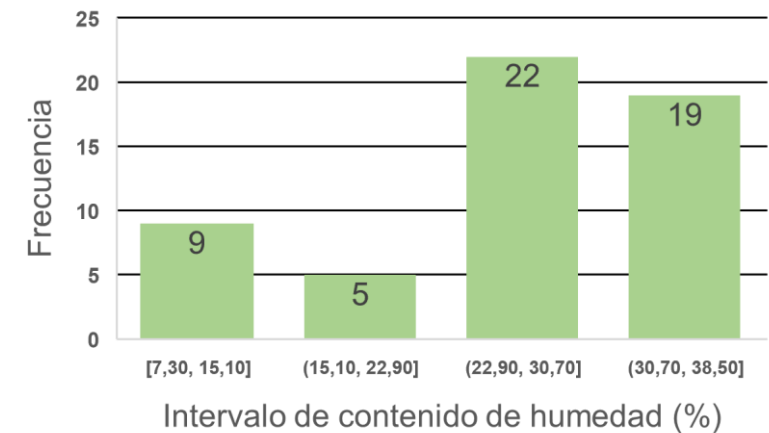


Figura 3: Histograma de resultados contenido de humedad.

Fuente: Elaboración propia.

Hipótesis y objetivos

❖ Hipótesis

Existe una relación estadísticamente significativa entre el procesamiento de imágenes para la obtención del área nudosa de una probeta de madera pino radiata con las variables resistencia a la compresión paralela a la fibra y contenido de humedad.

❖ Objetivo general

- I. Validar el uso de procesamiento de imágenes para automatizar el procedimiento de clasificación mecánica de la resistencia de madera pino radiata.

❖ Objetivos específicos

- I. Obtener base de datos significativa de probetas.
- II. Desarrollar un algoritmo basado en procesamiento de imágenes que logre identificar el área nudosa.
- III. Obtener la resistencia a la compresión paralela a la fibra de probetas y su contenido de humedad.
- IV. Generar y validar un modelo predictivo.

Metodología de trabajo

1. Algoritmo de procesamiento de imágenes: Elaboración de algoritmo que logre detectar defectos en la madera.

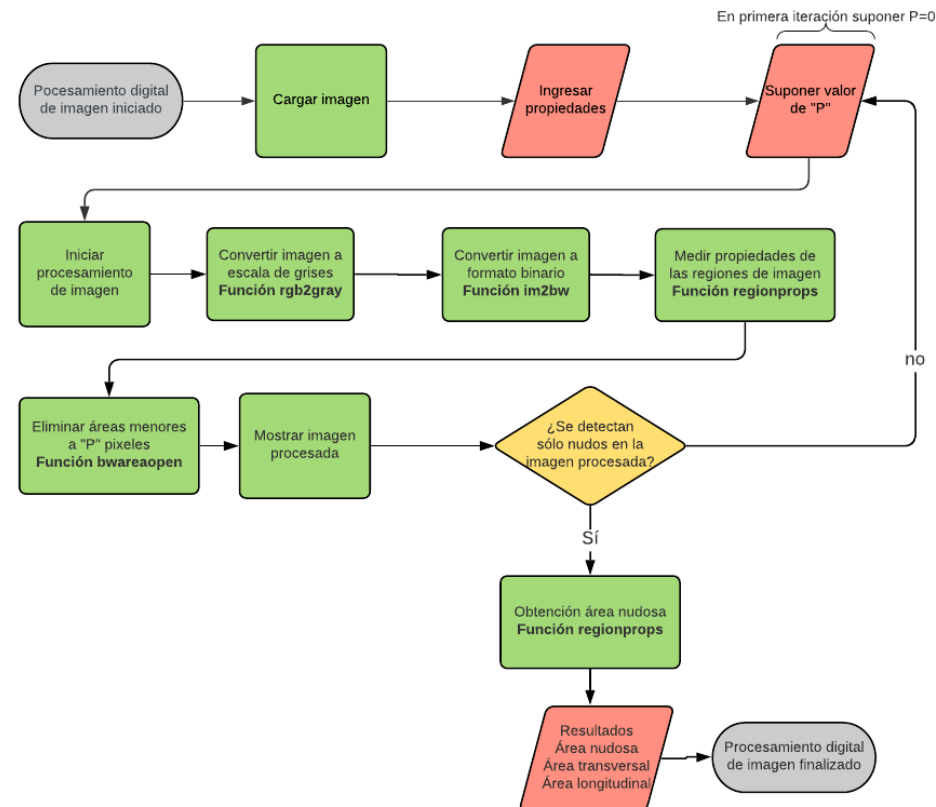


Figura 4: Diagrama de flujo de algoritmo de procesamiento de imágenes.

Fuente: Elaboración propia.

Metodología de trabajo

2. Levantamiento de imágenes: Captura de imágenes de las 55 probetas de madera pino radiata.

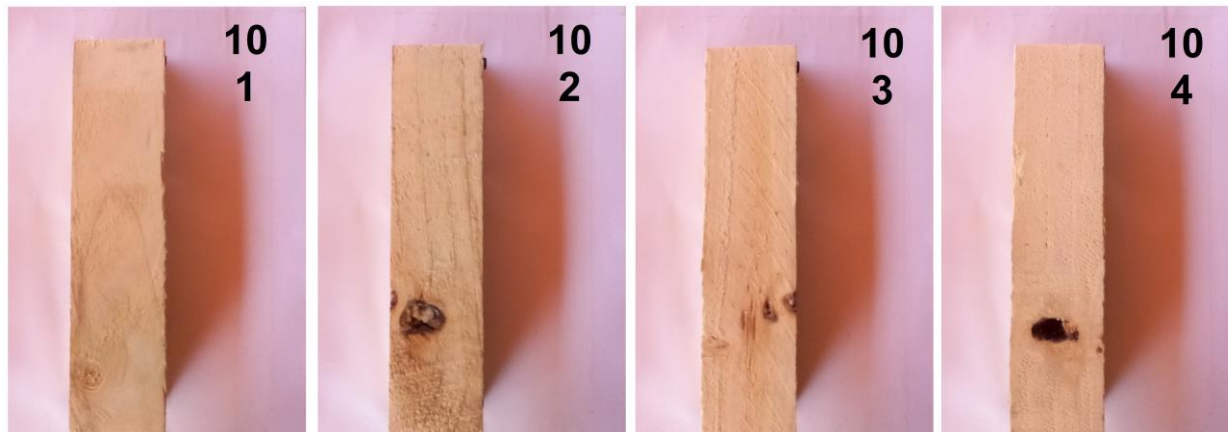


Figura 5: Levantamiento de imágenes sin editar probeta N°10.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6: Levantamiento de imágenes editada probeta N°10.

Fuente: Elaboración propia.

Metodología de trabajo

3. Procesamiento de imágenes: Procesamiento de las imágenes de cada probeta en algoritmo creado en interfaz de usuario diseñada en GUIDE MATLAB R2020a para el presente proyecto.

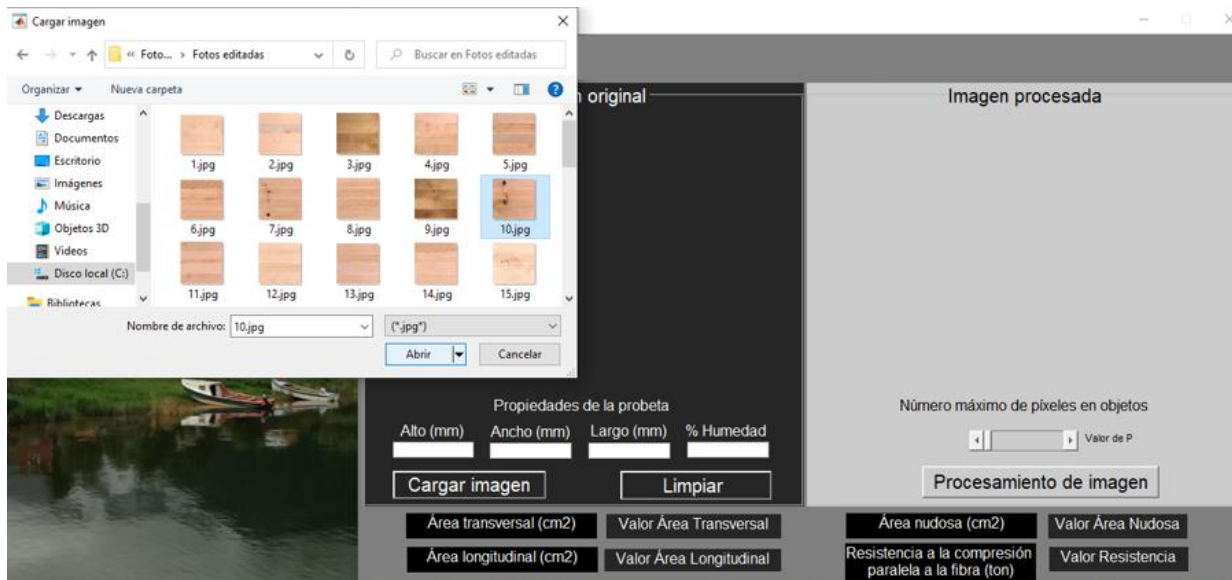


Figura 7: Procedimiento para cargar imagen a procesar e ingreso de propiedades.

Fuente: Elaboración propia.

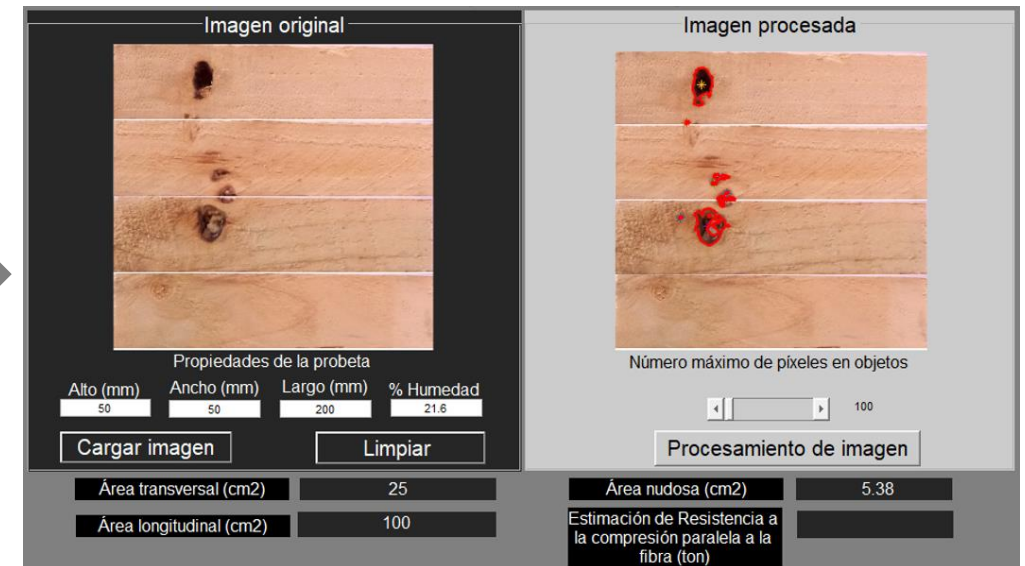


Figura 8: Procesamiento de imagen probeta N°10.

Fuente: Elaboración propia.

Metodología de trabajo

4. Ensayos experimentales: Realización de ensayo compresión paralela a la fibra y medición contenido de humedad.

Los ensayos de compresión se realizaron en un equipo modelo Automax 5 con carga máxima 2000 kN, a una velocidad de carga de 0,6 mm/min, no variando más allá de un 25%, de acuerdo con NCh 973. La humedad se midió usando un equipo modelo Extech M-0220.



Figura 9: Máquina de ensayo para compresión.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 10: Aparato para medir humedad.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

5. Modelo predictivo: Obtención de modelo predictivo no-lineal múltiple polinómico grado 2 mediante MATLAB R2020a.

Tabla 1: Coeficientes regresión lineal múltiple grado 2 mediante MATLAB R2020a.

Coeficiente	Valor
P ₀₀	8,917
P ₁₀	-0,2755
P ₀₁	0,2695
P ₂₀	0,004273
P ₁₁	-0,01122
P ₀₂	-0,006713

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Resultados modelo predictivo no-lineal múltiple polinómico grado 2.

Estadísticas de la regresión	Software
	MATLAB R2020a
Coeficiente de determinación R ²	0,688
R ² ajustado	0,656
Observaciones	55

Fuente: Elaboración propia.

$$Y = p_{00} + p_{10} \cdot H + p_{01} \cdot A_0 + p_{20} \cdot H^2 + p_{11} \cdot H \cdot A_0 + p_{02} \cdot A_0^2$$

Ecuación 1: Ecuación de regresión no-lineal múltiple polinómica grado 2.

Y = Estimación resistencia a la compresión paralela a la fibra (ton);

p_{ij} = Coeficientes de la regresión;

H = Contenido de humedad (%);

A₀ = Área nudosa (cm²).

Resultados

5. Modelo predictivo: Obtención de modelo predictivo no-lineal múltiple polinómico grado 2 mediante MATLAB R2020a.

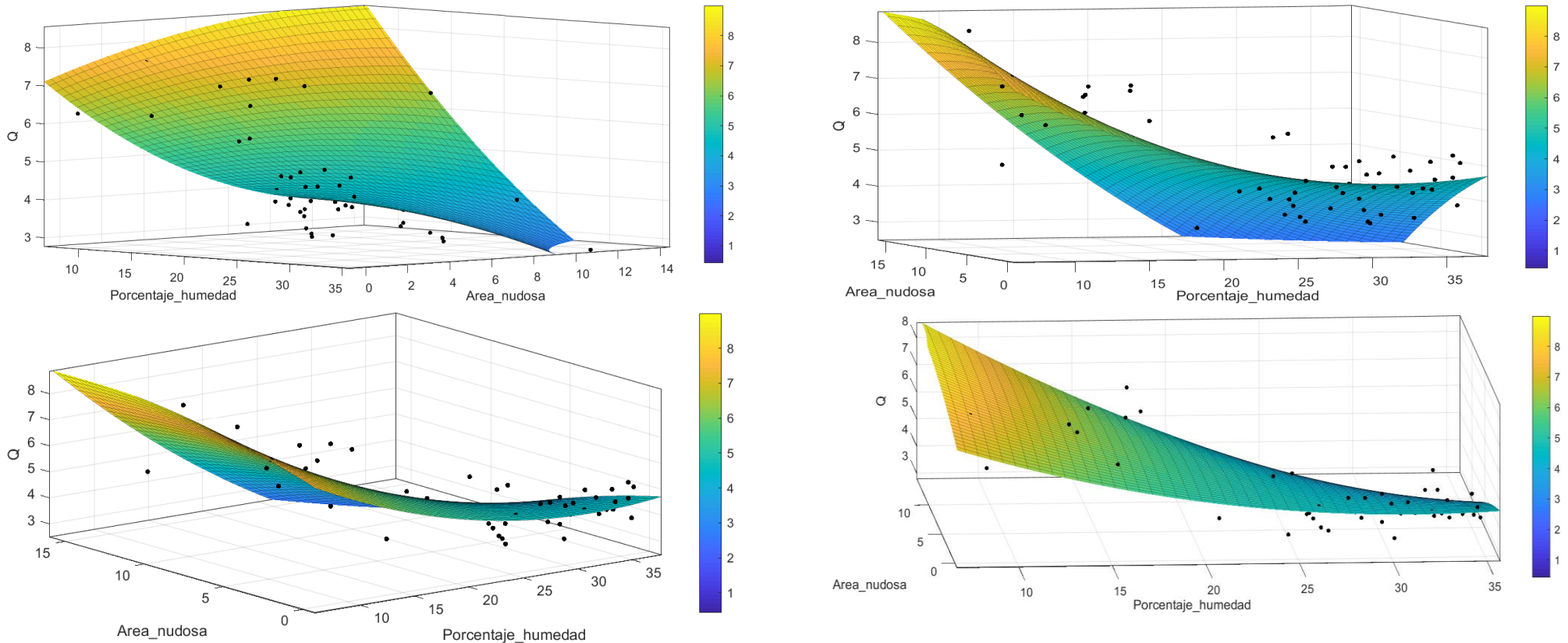


Figura 11: Superficie de respuesta simple grado 2 mediante MATLAB R2020a.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones y/o recomendaciones

- Se logra validar el uso de procesamiento de imágenes como una herramienta que logra verificar que existe una relación significativa entre las variables resistencia a la compresión paralela a la fibra, humedad y área nudosa para probetas de madera estructural pino radiata.
- Se cumplen los objetivos propuestos, logrando automatizar la clasificación mecánica de la madera pino radiata, presentando una propuesta que logra reducir los costos y tiempos de ejecución de ensayos.
- Se confirma lo que indica la literatura, en donde la humedad con su factor K_h [5] y el área nudosa [2] en especies coníferas afectan substancialmente en las propiedades mecánicas, en específico, resistencia a la compresión paralela a la fibra [4].
- Pese a que se presenta una base de datos reducida, se logra escoger y validar un modelo predictivo con un 69% de capacidad predictiva.

Bibliografía

- [1] Colling, F. (1995). Brettschichtholz unter Biegebeanspruchung, in Informationdienst Holz, Holzbauwerke, Step 3. Alemania.
- [2] Dávalos-Sotelo, R., & Ordóñez Candelaria, V. (2011). Effect of knots on the bending strength of pine wood for structural use. ResearchGate.
- [3] de Solminihac, H., & Dagá, J. (2018). Productividad Laboral en la Construcción en Chile: Comparación Internacional. CLAPES UC.
- [4] Gutierrez, M. (2014). Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú Guadua Angustifolia Kunth. ResearchGate.
- [5] INN. (2014). NCh1198 Madera - Construcciones en madera - Cálculo. Chile: INN.
- [6] INN. (2018). NCh973 Maderas - Determinación de las propiedades mecánicas - Ensayo de compresión paralela a la fibra.
- [7] Instituto Forestal (INFOR). (2019). Anuario forestal: Chilean statistical yearbook of forestry 2019. Santiago: Instituto Forestal (INFOR).
- [8] MINVU. (2016). Desafíos y oportunidades de la construcción en madera en Chile. Seminario CORMA.
- [9] McKinsey Global Institute. (2017). Reinventing construction: A route to higher productivity. McKinsey & Company.
- [10] McKinsey Global Institute. (2016). Imagining construction's digital future. McKinsey & Company.