



## Doctoral Thesis

# On the hydrodynamics of a Wirz-II extraction column

**Author(s):**

Rincón Rubio, Luis Marcial

**Publication Date:**

1992

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000665828> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 9867

# On the Hydrodynamics of a Wirz-II Extraction Column

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by  
LUIS MARCIAL RINCÓN RUBIO  
Chemical Engineer (Stanford University, USA)  
born January 18th, 1958  
citizen of The United States of America

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. S. Hartland, examiner  
Prof. Dr. F. Widmer, co-examiner

1992



# Abstract

A comprehensive study of the hydrodynamic behaviour of a Wirz-II extraction column is presented, together with a proposed mass transfer model and scale-up procedure, as a first contribution towards the design of such extractors from physical property data and theoretical relationships between the relevant parameters and column operating conditions.

In order to study the hydrodynamic characteristics of the Wirz-II extractor a pilot plant was constructed comprising a 15 cm nominal diameter column, having 22 stages, and accessory equipment including storage tanks, pumps, temperature control systems and flow measurement devices. The plant was operated under single (aqueous) phase conditions and under two-phase counter-current conditions; Six different liquid-liquid systems were used, having different interfacial tensions and density difference between the light (organic) and heavy (aqueous) phases, the organic solvents being dispersed in the aqueous phase. For each liquid-liquid system the process variables were systematically varied as to determine their influence on the relevant hydrodynamic parameters, *i. e.* maximum liquid capacities, drop size distribution and average drop size, dispersed phase hold-up, continuous phase axial mixing and dispersed phase residence times.

Experimental techniques generally used to characterize the hydrodynamics of other types of liquid-liquid column extractors were also used, whenever possible, for the Wirz-II column. Deviations from ideal plug flow of the continuous phase were characterized by a one-dimensional dispersion model, and the continuous phase dispersion coefficients were measured by the two-point transient tracer injection method. Actual velocities of the size-distributed organic droplets in the Wirz-II column, leading to deviations from ideal plug flow, were obtained from transient injections of a

coloured tracer and the analysis of the resulting residence time curves by assuming a purely convective flow of the dispersed phase.

The column hydrodynamic behaviour was found to be strongly dependent on the nature of each of the systems under study, confirming the risks involved in extrapolating the results of investigations conducted with a single liquid-liquid system to other systems with different physical properties, as well as the limited use of such extrapolations for design and scale-up purposes. Qualitative discussions ensued from the extensive experimental data that was gathered, and quantitative relationships were developed to predict the involved hydrodynamic parameters from physical property data and operating conditions; Models based on dimensional analysis or power function correlations of the relevant variables were complemented, whenever feasible, by models based on physical principles, with the aim of illustrating the various mechanisms determining the general hydrodynamic behaviour of the Wirz-II column.

The performance of Wirz-II columns for liquid-liquid extraction operations was simulated by assuming that, in the absence of interfacial Marangoni effects, correlations developed in the absence of mass transfer apply to actual extraction operations. Based on the observed behaviour of the dispersed phase droplets, the developed expressions for prediction of hydrodynamic parameters were thus incorporated into a general column mass transfer model comprising turbulent dispersion in the continuous phase and forward mixing in the dispersed phase. From scale-up criteria associated to an early version of the Wirz-II extractor the correlations developed here for a column having a nominal diameter of 15.0 cm were modified as to be applicable to other column diameters, and used to work out operation and design examples.

# Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine umfassende Studie über das hydrodynamische Verhalten einer Wirz-II Extraktionskolonne vorgestellt. Diese beinhaltet ausserdem eine mathematische Modellierung des Stoffaustausches, sowie Vorschläge für den Scale-up. Es handelt sich dabei um einen ersten Beitrag zur Auslegung derartiger Extraktoren aufgrund von physikalischen Zustandsdaten und theoretischen Zusammenhänge zwischen den relevanten Parametern und den Kolonnen Betriebsbedingungen.

Um die hydrodynamischen Charakteristiken des Wirz-II Extraktors zu untersuchen wurde eine Pilotanlage, bestehend aus einer Kolonne mit nominal 15.0 cm Durchmesser und 22 Stufen sowie der nötigen Zusatzeinrichtungen, wie Tanks, Pumpen, Durchflussmessenrichtungen, Temperatur Kontrollsysteme und Destillationsanlage aufgebaut. Die Pilotanlage wurde unter 1-Phasen und Gegenstrom 2-Phasen Bedingungen gefahren. Sechs flüssig-flüssig Systeme mit jeweils verschiedenen Grenzflächenspannungen und unterschiedlichen Dichtedifferenzen zwischen der leichten (organischen) und schweren (wässrigen) Phase wurden verwendet. Für jedes flüssig-flüssig System wurden die Prozessvariablen systematisch verändert, um ihren Einfluss auf die hydrodynamischen Parameter, die Belastungsgrenze, die mittlere Tropfengrösse sowie deren Verteilung, der Anteil der dispersen Phase (Hold-up), die axiale Vermischung in der kontinuierlichen Phase, sowie auf die Verweilzeit der dispersen Phase zu bestimmen.

Für die experimentellen Arbeiten wurde wann immer möglich auf Methoden zurückgegriffen, die bereits zur Charakterisierung des hydrodynamischen Verhaltens anderer flüssig-flüssig Kolonnen-Extraktoren verwendet wurden. Abweichungen von idealer Pfropfenströmung der kontinuierlichen Phase wurden durch ein eindimensionales Dispersionsmod-

ell beschrieben, wobei die Dispersionskoeffizienten mit Hilfe der nichtstationären 2-Punkt Spurstoffeinspritzung bestimmt wurden. Das jeweilige Geschwindigkeitsspektrum der Tröpfchen (organische Phase), das zu Abweichungen von idealer Pfropfenströmung führt, wurde durch nichtstationäre Einspritzung von Spuren eines Farbstoffes bestimmt. Die Auswertung der mit dieser Methode erhaltenen Verweilzeitkurven wurde unter Annahme eines rein konvektiven Flusses der dispersen Phase durchgeführt.

Für das hydrodynamische Verhalten der Kolonne konnte eine starke Abhängigkeit von der Beschaffenheit des untersuchten Systems gefunden werden. Daraus wird ersichtlich, dass Erkenntnisse die aus Messungen an einem bestimmten flüssig-flüssig System gewonnen wurden nur schwer auf Systeme mit anderen physikalischen Parametern übertragen werden können, dies gilt auch für Zwecke des Anlagenentwurfs bzw. Scale-up. Anhand der umfangreichen Messdaten konnten jedoch neben qualitativen Diskussionen auch quantitative Zusammenhänge aufgezeigt werden, die eine Vorhersage der involvierten hydrodynamischen Parameter aufgrund von physikalischen Zustandsdaten und Kolonne Betriebsbedingungen gestatten. Modelle auf der Basis von Dimensionsanalysen oder Potenzfunktionen der relevanten Variablen wurden wann immer möglich mit auf physikalischen Prinzipien basierenden Modellen komplettiert, um die verschiedenen Mechanismen, die das hydrodynamische Verhalten der Wirz-II Kolonne beeinflussen zu beschreiben.

Das Verhalten der Wirz-II Kolonne bei der flüssig-flüssig Extraktion wurde unter der Annahme simuliert, dass bei Abwesenheit von Grenzflächen Marangoni Effekten, Modelle die ohne Stoffaustausches entwickelt wurden, auf die jeweiligen Extraktionsbedingungen anwendbar sind. Basierend auf dem beobachteten Verhalten der dispersen Phase wurde ein Stoffaustauschmodell, dass auf turbulenter Dispersion in der kontinuierlichen Phase und Vorwärtsvermischung in der dispersen Phase basiert, vorgeschlagen. Die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Zusammenhänge wurden, mit Hilfe bereits existierender Scale-up Kriterien für eine frühere Version des Wirz Extraktor modifiziert, so dass Design Beispiele ausgearbeitet werden konnten.